

DISEÑO DE SISTEMA DE CUBIERTA MÓVIL PARA PISCINAS

Autora del proyecto

Araceli López Rodríguez

Tutor del proyecto

Isaac López César

Junio 2014/15

Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, Universidad de A Coruña

ÍNDICE

PARTE I. LAS ESTRUCTURAS DESPLEGABLES. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| ANTECEDENTES REMOTOS: APORTACIONES PUNTUALES | 1 |
| EL PRINCIPIO DE LA LIGEREZA | 3 |
| LA INFLUENCIA DE LAS UTOPIÁS | 6 |
| EL PIONERO: EMILIO PÉREZ PIÑERO, UNA ESTRELLA FUGAZ | 8 |
| FREI OTTO. UN MAESTRO EN ESTRUCTURAS LIGERAS | 11 |
| CONTINUACION DE UN LEGADO. HOBERMAN Y SCHLAICH BERGERMANN AND PARTNER | 14 |
| TRAS LA ESTELA DE PIÑERO: FÉLIX ESCRIG, JUAN PÉREZ VALCARCEL Y JOSÉ SÁNCHEZ | |
| SÁNCHEZ | 18 |
| OTRAS APORTACIONES | 22 |
| BIBLIOGRAFÍA | 24 |

PARTE II. PROPUESTA PRÓPIA. DISEÑO DE SISTEMA DE CUBIERTA MÓVIL PARA PISCINAS

| |
|-------------------------|
| MEMORIA DESCRIPTIVA |
| MEMORIA DE CÁLCULO |
| MEMORIA GRÁFICA. PLANOS |

PARTE I. LAS ESTRUCTURAS DESPLEGABLES
INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

INTRODUCCIÓN

Desde los primeros tiempos de la humanidad, el hombre ha tenido el instinto de buscar cobijo. En el paleolítico y neolítico los pueblos eran nómadas o semi sedentarios. Estos pueblos se desplazaban por la caza, el pastoreo y la cosecha, debido a esto, buscaban cobijo en las primeras estructuras conocidas, las cuevas. Se trata, por lo tanto, de estructuras naturales.

Las inquietudes y necesidades del hombre por cambiar el medio en que se desenvuelve, hace que desarrolle e invente sistemas estructurales artificiales que le resuelven los problemas que se le presentan en cada momento.

En este proceso de desarrollo e inventiva, se deben tener en cuenta las propiedades principales que ha de tener una estructura para que funcione correctamente. Estas propiedades son, la resistencia, la rigidez y la estabilidad. La resistencia, para soportar sin romperse las fuerzas a las que se encuentra sometida; la rigidez, para que su deformación sea compatible con su uso, con su apariencia y con la integridad de los elementos constructivos, y por último, la estabilidad, para que se mantenga en equilibrio sin volcar ni desplazarse.

En edificación las estructuras más utilizadas y extendidas son las estructuras fijas, las cuales se identifican por su nula o escasa capacidad de desplazamiento.

Por el contrario, podemos encontrar sistemas estructurales desarrollados puntualmente de estructuras móviles, menos extendidas en el campo de la edificación. Estas estructuras están profundamente identificadas por su capacidad de desplazamiento.

En nuestro caso particular, nos vamos a centrar en el estudio de estructuras que además de tener un carácter móvil, se definen por ser estructuras desplegables.

Las estructuras desplegables se caracterizan por ser estructuras ligeras, generalmente compuestas por barras de gran esbeltez. Sus uniones se suelen realizar mediante nudos articulados, siendo el diseño de estos, junto con la geometría global de la estructura los puntos clave de la plegabilidad.

ANTECEDENTES REMOTOS: APORTACIONES PUNTUALES

Ya en la época del antiguo Egipto, se pueden encontrar algunos ejemplos de sistemas plegables/desplegables, aunque de escasa entidad, sin entrar en sistemas empleados en la edificación. En algunos papiros, se puede observar el empleo de sillas plegables, tanto de aspas como de haces, en escenas de caza, lo que cabe suponer que su empleo era debido a la facilidad de transporte (Img.1 y 2). Incluso, en numerosos papiros, se encuentra reflejado el uso de sistemas espaciales desplegables como pueden ser las sombrillas.



Img.1 Silla de cazador ⁽³¹⁾

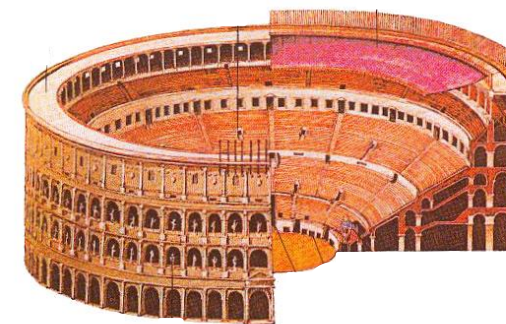


Img.2 Ilustración de silla egipcia desplegable en papiro. ⁽³²⁾

Estos hallazgos, aunque no sean muy significativos, permiten vislumbrar, que ya desde tiempos tempranos el ser humano ha sentido la necesidad de generar sistemas plegables, encaminados a conseguir comodidad en su transporte.

La etapa histórica ocupada por el Imperio Romano también ha sido una época en la que podemos encontrar estructuras móviles, ya a mayor escala que en la egipcia.

Encontramos antiguas representaciones de edificios importantes en las que se aprecian estructuras desplegables. El coliseo romano y el anfiteatro de Pompeya (el más antiguo anfiteatro romano que sobrevive), son ejemplos de estas construcciones (Img.3 y 4). En algunos frescos encontrados se puede observar que ambas construcciones poseían unos toldos desplegables que cubrían las gradas o la totalidad del recinto para proporcionar protección del sol.



Img.3 Coliseo romano con el toldo. ⁽³³⁾



Img.4 Fresco encontrado en la ciudad de Pompeya. Se puede observar representado el toldo en la parte superior.⁽³⁴⁾

Anteriormente, hemos comentado la existencia de pueblos nómadas. La necesidad de movimiento de estos pueblos, genera que se desarrollen puntualmente algunas estructuras plegables, que sirven de cobijo y son fácilmente transportables.

Dentro de estas construcciones cabe destacar la “yurta”, que es una vivienda utilizada por los pueblos nómadas en las estepas de Asia Central. Este tipo de tienda es utilizada por diversos pueblos desde la Edad Media. En esta etapa, la vida nómada de los mongoles obligó a que tuvieran una vivienda para sus constantes desplazamientos.

La “yurta” constituye el primer ejemplo de vivienda completamente desplegable y de rápido montaje. Está compuesta por un cerramiento llamado *jana*, que se obtiene de un enrejado plano que posteriormente es desplegado, curvándose para generar una planta circular (Img. 5). Este enrejado está formado por listones de madera que una vez desplegados constituyen el cerramiento vertical. El desplegado se hace posible gracias a la formación de nudos entre barras pasantes unidas mediante hilo grueso y flexible. El cerramiento se pliega independientemente de la cubierta de la tienda, que era colocada posteriormente (Img. 6). Esta cubierta estaba formada por dos elementos diferenciados, el *anillo* y las *vigas*. El *anillo*, es un elemento que se situaba en la parte central superior de la tienda y soportaba la carga del extremo de las vigas al tiempo que, permitía la salida de humo y la entrada de luz al recinto. Las *vigas* daban una forma redondeada al techo apoyándose sobre la parte superior del cerramiento circular y extendiéndose hasta el anillo. Una vez desplegada la estructura se colocaba el *recubrimiento*, formado por varias capas de paja y lonas de lana, variando el número de capas en función de las condiciones climáticas (Img. 7 y 8).

El resultado del plegado de una “yurta” era un paquete compacto y que fácilmente podían transportar los camellos.



Img.5 Desplegado de la Jana.⁽³⁵⁾



Img.6 Colocación de la cubierta.⁽³⁵⁾



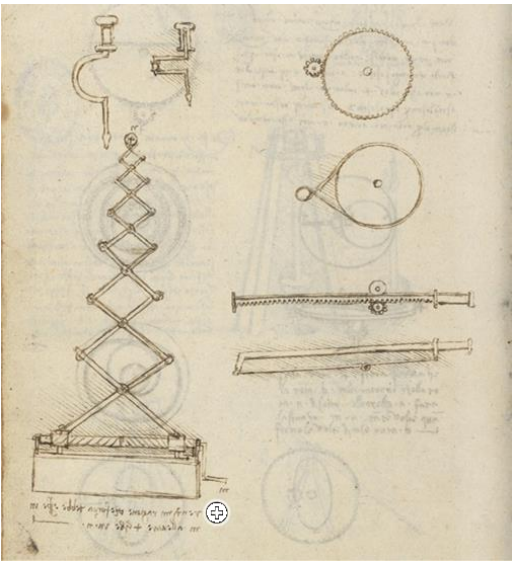
Img.7 Yurta finalizada con el recubrimiento de lona.⁽³⁵⁾



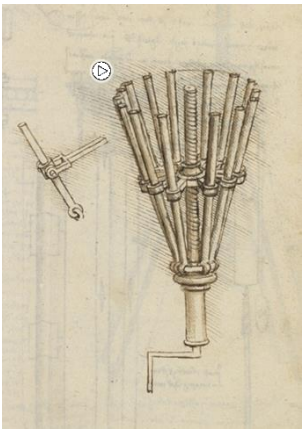
Img.8 Agregación de varias capas de paja.⁽³⁵⁾

Enmarcados en el Renacimiento encontramos varios ejemplos claros de estructuras desplegables pertenecientes a Leonardo Da Vinci. El diseño de estas estructuras está recogido en el Códice I de Madrid, depositado en la Biblioteca Nacional. En el folio 24 verso de dicho código aparece representado un mecanismo elevador plano de aspas, que puede desplegarse con un doble tornillo. Bajo este diseño se puede leer una cita del autor que dice “Razóname qué fuerza debe existir en m para poder levantar 4 libras en n” (Img. 9).

En el folio 25 recto se puede ver otro mecanismo desplegable tipo sombrilla (Img. 10), pero en este caso no hay ninguna cita aclaratoria por parte del autor.



Img.9 Mecanismo elevador de aspas. Leonardo Da Vinci. Códice I⁽³⁶⁾



Img. 10 Mecanismo desplegable tipo sombrilla. Leonardo Da Vinci. Códice I⁽³⁶⁾

En todo caso observamos como los antecedentes más antiguos de la desplegabilidad estructural se caracterizaron por estar constituidos por aportaciones puntuales, en general, sin ningún tipo de relación o continuidad entre ellos.

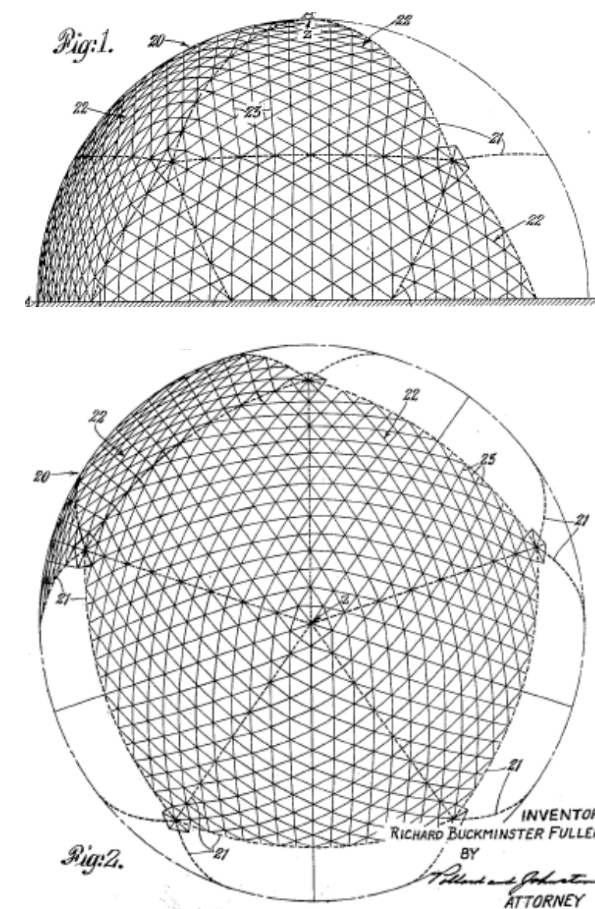
Saltando a la época moderna, debemos remarcar que han existido dos elementos que sin duda han marcado notablemente a determinados autores modernos preocupados por la transformabilidad, la desplegabilidad y el rápido montaje: el principio de la ligereza y los movimientos arquitectónicos pseudoutópicos que se han desarrollado en las décadas de los 60 y los 70.

EL PRINCIPIO DE LA LIGEREZA

El principio de la ligereza se entiende modernamente a partir del desarrollo y enorme difusión de las modernas mallas espaciales, así como de las estructuras neumáticas.

La malla espacial como es sabido, se caracteriza por una ausencia en la jerarquización de sus elementos. De manera que las cargas son soportadas por un gran número de barras, lo que provoca unas dimensiones reducidas a nivel de sección.

En el campo de las mallas espaciales, destaca el trabajo desarrollado por Richard Buckminster Fuller en la década de los 50, con la aportación de su cúpula geodésica (patente 2.682.235 de 1954 (Img.11.a)). Esta cúpula es generada a partir de la división de las caras de un poliedro (generalmente icosaedro), generando una malla espacial ligera capaz de cubrir grandes luces.



Img.11.a Imágenes de la patente de R.B Fuller de 1954, de la Cúpula Geodésica.

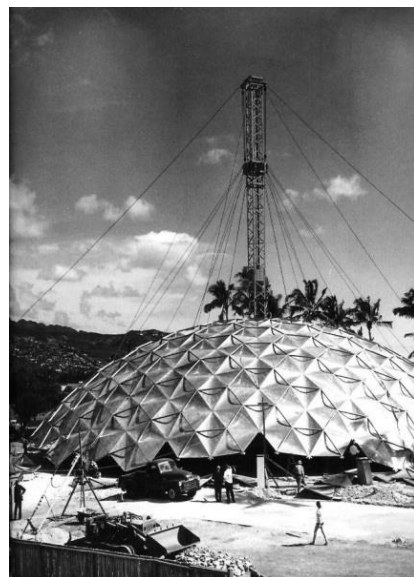


Img. 11.b Vista del pabellón americano de la Expo 67, por R. Buckminster Fuller, ahora la Biosphère, en la île Sainte-Hélène, Montreal. Una de las cúpulas geodésicas más conocidas del autor. ⁽³⁷⁾

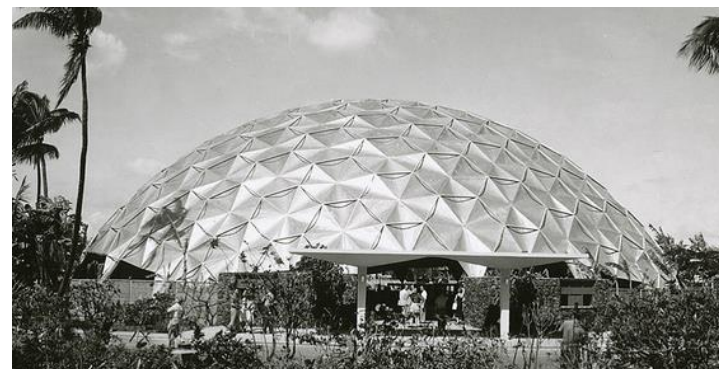
Los sistemas de rápido y sencillo montaje también fueron explotados por el propio Fuller. Sirva como ejemplo la Kaiser Dome, con 50 metros de diámetro, construido en 1972 en Honolulu (Img. 12, 13 y 14). La Kaiser Dome fue construida según un novedoso sistema de montaje, que consiste en la suspensión de la cúpula de un mástil central y mientras esta se va elevando por el mástil se van montando las barras o placas perimetrales cerca del suelo. La cúpula tardó solo 22 horas en montarse por completo.



Img. 12 Fase inicial del montaje del Kaiser Dome, Honolulu. ⁽³⁹⁾



Img. 13 Fase intermedia del montaje del Kaiser Dome, Honolulu. ⁽³⁸⁾



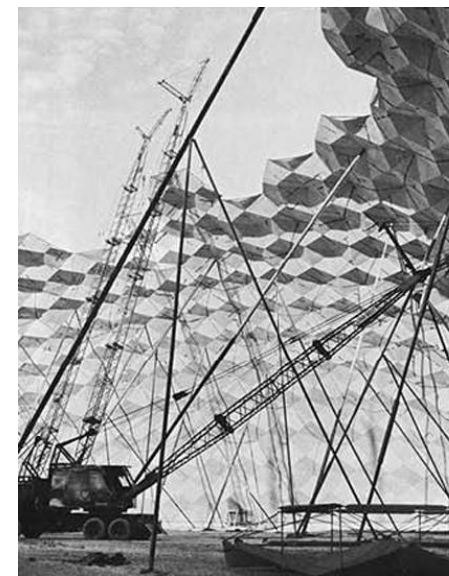
Img. 14 Kaiser Dome finalizado, Honolulu. ⁽³⁹⁾

Como podemos observar, existen varios sistemas de montaje de cúpulas geodésicas, y a continuación realizaremos una sencilla clasificación:

- En voladizos sucesivos. Un ejemplo del este sistema de montaje son las cúpulas gemelas que Fuller construyó en 1958, una para la Union Tank Car Company en Baton Rouge (Louisiana) (Img. 15 y 16) y la otra la Wood River (Illinois). Con 117 m de luz y 73 m de flecha, se convirtieron en las mayores estructuras de luz libre construidas en el mundo hasta ese momento.
- Sistema Kaiser Dome, del que ya hemos hablado anteriormente.
- Sistema Pantadome. Este sistema es desarrollado por el ingeniero de estructuras Mamoru Kawaguchi, y fue utilizado en numerosas obras debido a la facilidad y rápido montaje. Está basado en transformar la malla en un mecanismo desplegable, siendo estabilizada mediante la colocación de barras. Ejemplos de este sistema son el World Memorial Hall (Kobe), terminado en 1984 (Img. 17), y el Palau Sant Jordi (Barcelona), terminado en 1990 (Img. 18 y 19).



Img. 15 Cúpula construida en Baton Rouge por Fuller. ⁽⁴⁰⁾



Img. 16 Fase de montaje de la cúpula construida en Baton Rouge por Fuller. ⁽³⁹⁾



Img. 17 Vista del World Memorial Hall, Kobe, por Mamoru Kawaguchi.



Img. 18 Fase de montaje del Palau Sant Jordi, Barcelona, por Mamoru Kawaguchi.⁽⁴¹⁾



Img. 19 Vista del Palau Sant Jordi, Barcelona, por Mamoru Kawaguchi.⁽⁴¹⁾

Las estructuras neumáticas, son otro gran ejemplo de estructuras ligeras, transportables y de rápido montaje. Estas estructuras han experimentado en las décadas de los 60 y 70 su mayor difusión. No obstante, la primera patente acerca de estructuras neumáticas es registrada en 1917, por el ingeniero inglés Frederick William Lanchester.

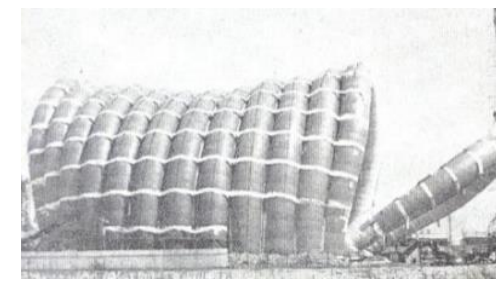
Las neumáticas son estructuras livianas que funcionan por diferencia de presión y alcanzan su equilibrio mediante tracción pura. Están formadas por una membrana delgada que se infla con aire o gas a presión. Existen diferentes tipos de estructuras neumáticas, que se diferencian, en parte, por las distintas presiones de inflado (alta o baja presión).

El arquitecto e ingeniero alemán Frei Otto, del que hablaremos más extensamente en puntos posteriores, ha centrado su trabajo en el estudio de las estructuras ligeras, y entre ellas se encuentran las estructuras neumáticas, que comienza a desarrollar entre 1958 y 1961.

En general podemos observar que la celebración de eventos puntuales como son las olimpiadas o las Exposiciones Universales, contribuye a la investigación e innovación en el campo de la arquitectura. Un ejemplo de ello, lo tenemos en la EXPO'70 en Osaka (Japón), que supuso un gran impulso para las estructuras neumáticas y modulares.

De la EXPO'70 son relevantes en arquitectura neumática diversos trabajos que cabe destacar. El primero, es el Pabellón FUJI, diseñado por Yutaka Murata, estructura formada por 16 arcos de doble membrana inflados con aire, que cubrían una luz total de 78 m, la mayor estructura neumática de alta presión construida hasta la época (Img. 20 y 21). Otro ejemplo, es el pabellón de Estados Unidos diseñado por David Geiger, que consistía en una cubierta oval neumática de perfil bajo reforzada con cables, con 142 m de largo y 83 m de ancho se convertiría en la mayor estructura neumática de baja presión construida hasta aquel momento (Img. 22 y 23).

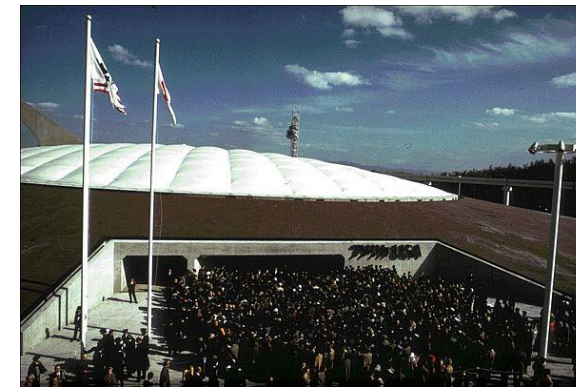
De notable mención, son también las sombrillas neumáticas que se colocaron en la "Expoland" de la EXPO'70 (Img. 24 y 25). Consisten en estructuras neumáticas de doble membrana con forma fungiforme, cuyo despliegue se realizaba mediante inflado, y el replegado mediante la retracción de los cables radiales que las arriostraban. Su diámetro variaba cuando estaban abiertos entre los 15 y los 35 metros.



Img.20 Montaje del pabellón FUJI, EXPO'70 Osaka, diseñado por Yutaka Murata.⁽⁵⁾



Img.21 Pabellón FUJI, EXPO'70 Osaka, diseñado por Yutaka Murata.⁽⁵⁾



Img.22 Vista exterior del Pabellón USA, EXPO'70 Osaka, diseñado por David Geiger.⁽⁵⁾



Img.23 Vista interior del Pabellón USA, EXPO'70 Osaka, diseñado por David Geiger.⁽⁵⁾

En el marco de la arquitectura Española, el gran referente en el campo de las estructuras neumáticas es el vallisoletano José Miguel Prada Poole, que en 1969 presenta para la feria industrial Expoplástica69, un cúpula plástica desmontable (Img. 26). A partir de ese momento desarrollará gran cantidad de proyectos, basados en una arquitectura efímera y pseudoutópica, a la que haremos referencia en puntos posteriores.



Img. 26 Prada Poole dentro de la cúpula diseñada para Expoplástica69. Madrid, 1969.⁽³⁰⁾

LA INFLUENCIA DE LAS UTOPIÁS

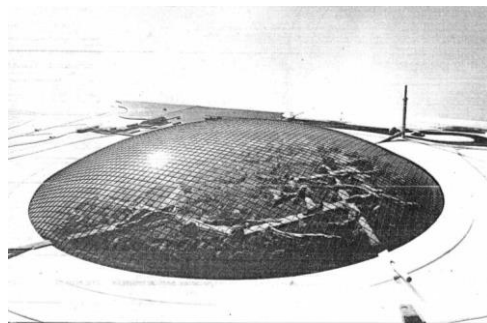
Diversos autores realizaron proyectos utópicos, basados en la idea de una arquitectura ambulante y cambiante, idea que ocupó un papel central en la arquitectura de los años sesenta, como ya hemos expresado anteriormente y que liga conceptualmente con el principio de la desplegabilidad.

En general, se caracteriza por ser una arquitectura móvil, agregativa y que pretende resolver el asentamiento humano en lugares inhóspitos, o reducir el impacto ambiental que la arquitectura tradicional tiene en el medio. Todas estas propuestas van de la mano del enorme desarrollo tecnológico que estaban experimentando en la época las mallas espaciales y las estructuras neumáticas, a las que nos hemos referido en el punto anterior.

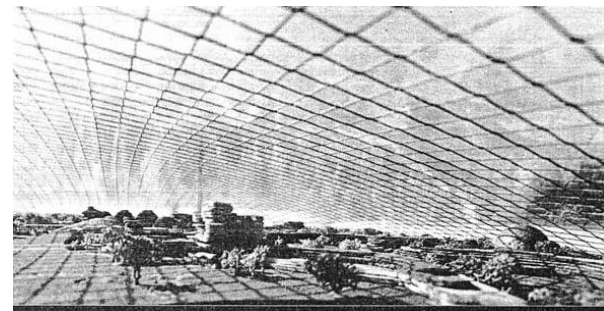
Podemos destacar múltiples propuestas pseudoutópicas, que han sido desarrolladas a lo largo del tiempo.

Frei Otto se une a Kenzo Tange para diseñar “La ciudad en el Ártico” (Img. 27 y 28), propuesta presentada en 1971, que consistía en una envoltura continua transparente formada por una bóveda neumática de perfil bajo reforzada con cables, que permitiría gestionar una ciudad en su interior.

Buckminster Fuller desarrolla en 1962 un proyecto para cubrir con una cúpula geodésica, de aproximadamente 3 km de diámetro parte de la isla de Manhattan (Img. 29), para así crear un microclima y al mismo tiempo protegerla de la contaminación.



Img.27 Ciudad en el Ártico, Frei Otto y Kenzo Tange, 1971.⁽⁵⁾

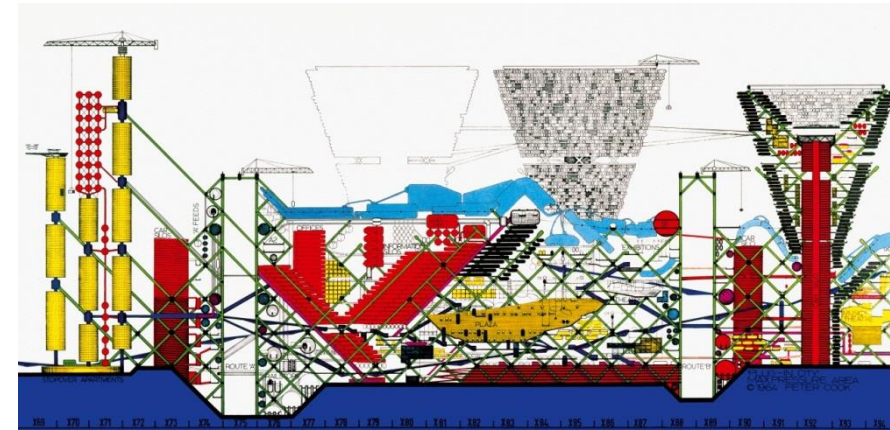


Img.28 Vista interior de la Ciudad en el Ártico, Frei Otto y Kenzo Tange, 1971.⁽⁵⁾

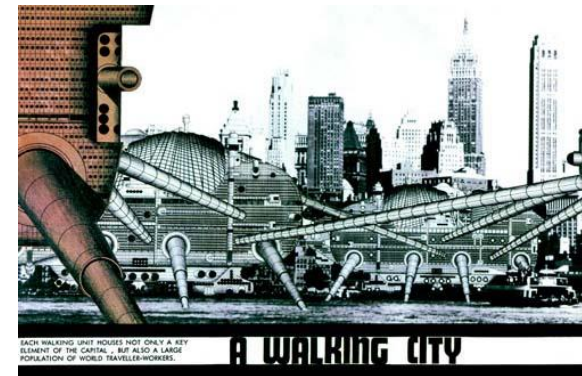


Img.29 Proyecto para cubrir la isla de Manhattan, Buckminster Fuller, 1962.⁽⁵⁾

Son conocidas las imágenes diseñadas por los miembros del grupo inglés Archigram, como son, “Plug-in City” de Peter Cook (1964), diseño de ciudad basado en una macromalla espacial a la que se van incorporando elementos en función de las necesidades (Img. 30). “Walking City” de Ron Herron (1964), el diseño se basa en una superestructura capaz de desplazarse por diversos medios, tanto por el mar, por el desierto o por encima de una ciudad ya construida (Img. 31 y 32). O “Sea Bubbles” de Ron Herron (1966), ciudad diseñada a base de módulos neumáticos agregativos, suspendidos de una estructura de mástiles sobre el mar (Img. 33).



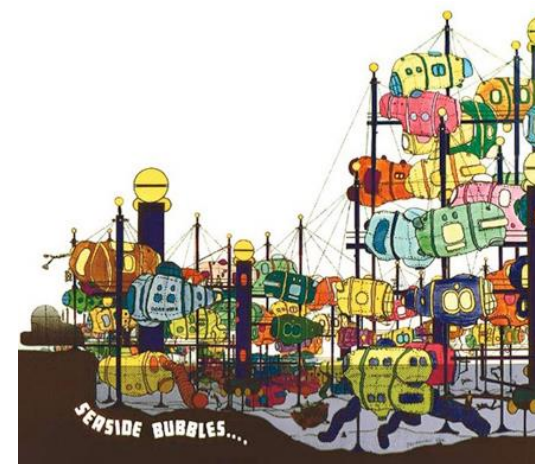
Img. 30 “Plug-in City” de Peter Cook, 1964.⁽⁴²⁾



Img. 31 “Walking City”, paradigma utópico de la movilidad, de Ron Herron, 1964.⁽⁴²⁾

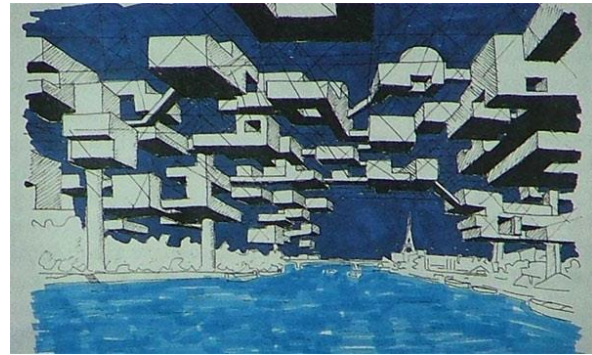


Img. 32 Maqueta modulo “Walking City” de Ron Herron, 1964.



Img. 33 “Sea Bubbles” de Ron Herron, 1966.⁽⁴²⁾

En el arquitecto húngaro Yona Friedman, podemos encontrar otro modelo claro de arquitectura móvil y utópica. Este arquitecto desarrolla la mayor parte de su obra desde París paralelamente a Archigram. Un ejemplo, son sus propuestas de ciudades modulares espaciales, ubicadas a cierta altura por encima del terreno y de ciudades ya existentes. Algunos de estos proyectos son “Paris Spatial” (Img. 34), “Villa Spatiale” (Img. 35), todos basados en macromallas espaciales a las que se les van conectando elementos, similar al caso de la “Plug-in City” de Archigram.



Img. 34 “Paris Spatial” de Yona Friedman. ⁽⁴²⁾

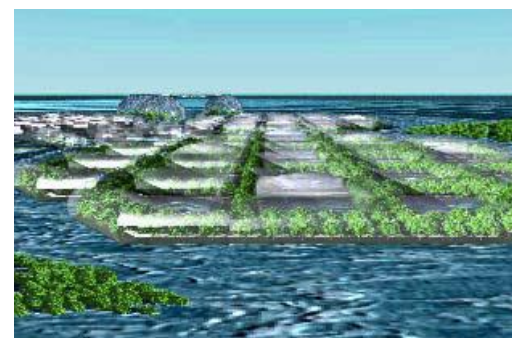


Img. 35 “Villa Spatiale” de Yona Friedman. ⁽⁴²⁾

Como ya hemos citado anteriormente, el arquitecto Prada Poole ha desarrollado gran parte de su trabajo en el ámbito de la arquitectura neumática, y además es también un ejemplo de arquitecto utópico. Dentro de sus trabajos destacan, “Instant city” ciudad hinchable, que fue construida en 1971 en Ibiza, con ocasión del “Congreso Internacional de Diseño ADI-FAD” (Img 36) y “Atlántida”(1983) proyecto utópico de una isla flotante (Img.37).



Img. 36 “Instant City”, Prada Poole, Ibiza 1971. ⁽⁵⁾



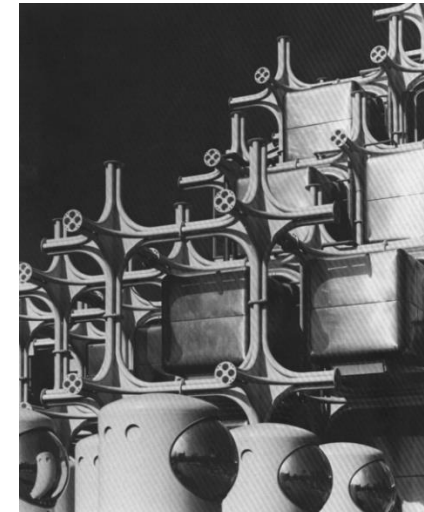
Img. 37 “Atlántida”, Prada Poole, 1983. ⁽³⁰⁾

Una parte de la arquitectura utópica la podemos clasificar dentro del llamado “Movimiento Metabolista”. Este es un movimiento que se inicia en Japón entorno al año 1959. Está caracterizado por estructuras flexibles y adaptables, construcciones modulares que se acoplan unas a las otras en función de las necesidades.

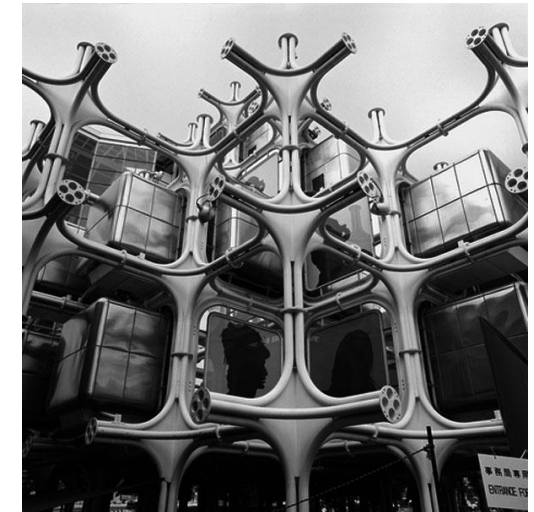
Algunas de las principales materializaciones del Movimiento Metabolista se encuentran en la EXPO’70 en OSAKA. Se trata del “Takara Beutilion” de Kisho Kurokawa, malla espacial a la que se le iban agregando elementos (Img. 38 y 39) y “Festival Plaza” de Kenzo Tange y Tsuboi, malla espacial transitable que recoge los planteamientos

utópicos de Yona Friedman (Img. 40 y 41). Destacar en el “Festival Plaza” la cubierta neumática de módulos cuadrados translucidos que se pueden observar en la imagen 41.

Sin duda, las aportaciones anteriores, caracterizarán un ambiente propicio para el desarrollo de las modernas estructuras desplegables.



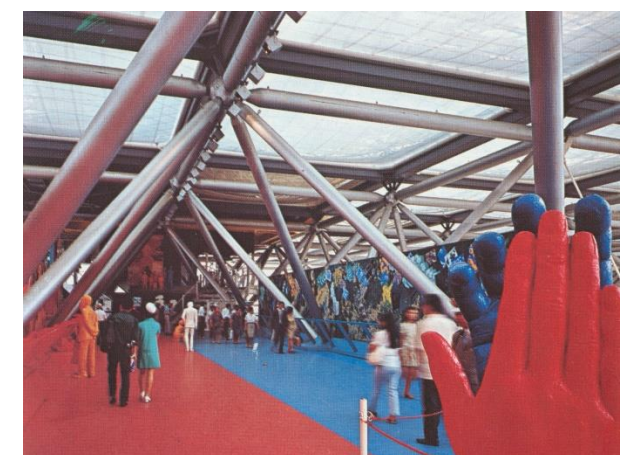
Img. 38 “Takara Beutilion” de Kisho Kurokawa, EXPO’70 Osaka. ⁽⁴³⁾



Img. 39 “Takara Beutilion” de Kisho Kurokawa, EXPO’70 Osaka. ⁽⁴³⁾



Img. 40 “Festival Plaza” de Kenzo Tange y Tsuboi, EXPO’70 Osaka.



Img. 41 Vista del interior de la malla “habitable” del “Festival Plaza”, EXPO’70 Osaka.

EL PIONERO: EMILIO PÉREZ PIÑERO, UNA ESTRELLA FUGAZ

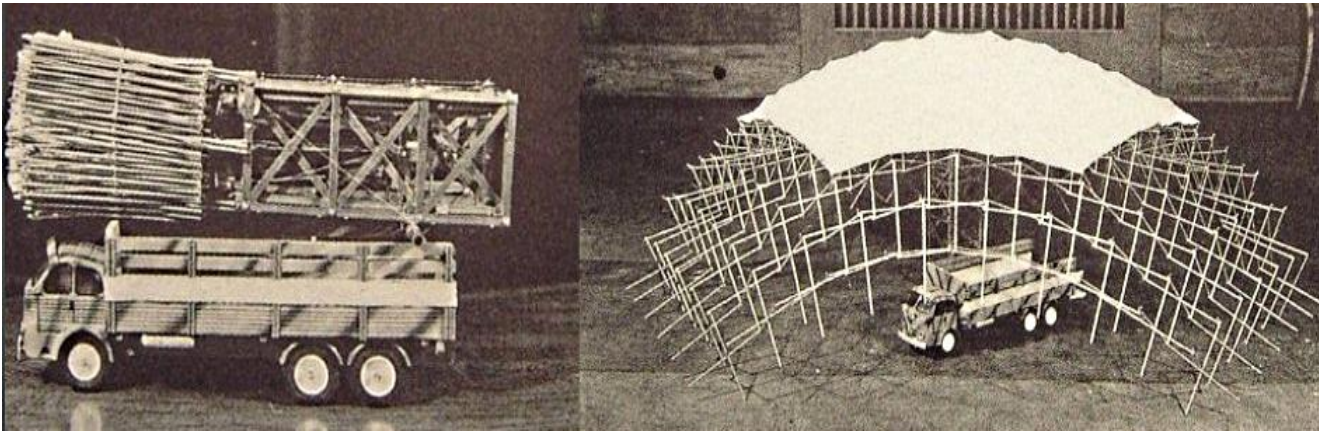
En 1961 se da a conocer el que sería el verdadero pionero de las estructuras desplegables modernas, Emilio Pérez Piñero.

Emilio Pérez Piñero nace el 27 de agosto de 1936, en Valencia. Hijo de un ingeniero militar fiel a la República, pasa su infancia en Calasparra, Murcia, mientras su padre permanecía en prisión. Cuando termina bachiller ingresa en la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid donde comienza sus estudios.

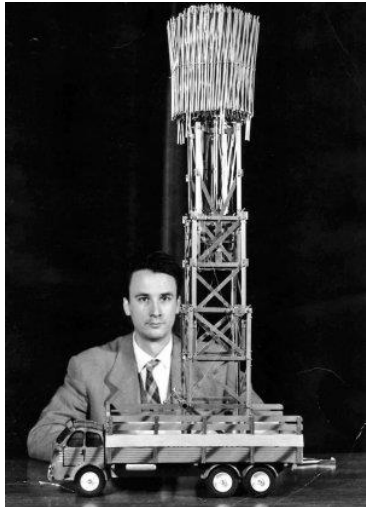
Durante su cuarto año de carrera, un profesor le propone participar en el concurso de proyectos del VII Congreso de la Unión Internacional de Arquitectos (U.I.A), que se celebraba en Londres en 1961. Dicho concurso tenía como tema un teatro ambulante.

Pérez Piñero presentó la propuesta de una estructura desplegable de módulos de haces, tanto para la cubierta como para el suelo. El paquete de barras se encontraba situado sobre un camión de juguete sobre el que se abría la cubierta (Img. 42 y 43).

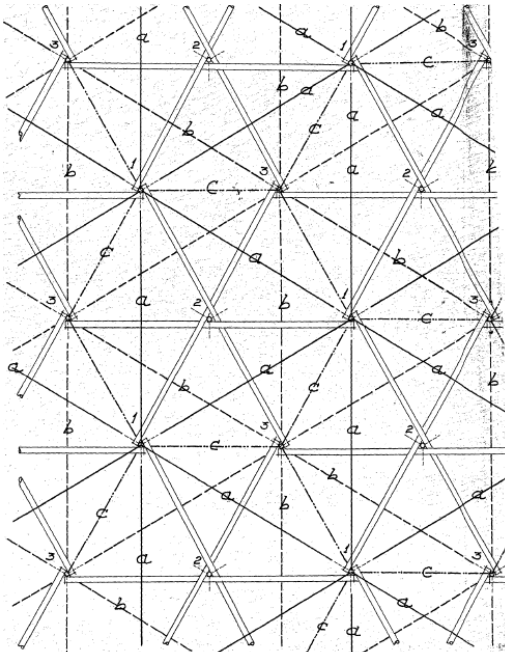
El proyecto se trata de una cúpula desplegable de 32 m de luz y 11m de flecha, que como ya nos hemos referido, está formada por una malla espacial de doble capa con módulos de haces que forman triángulos prácticamente equiláteros. Va cubierta por una lona unida a los nudos que junto con la estructura es totalmente plegable. El desplegado de la cúpula se realizaba mediante un mecanismo de elevación que iba montado en el propio camión que transportaba el paquete de la estructura. De esta manera no hacían falta más elementos para el montaje del teatro que los que ya estaban incorporados en el propio camión (Img. 44, 45 y 46). Esta estructura es una de las patentes de Piñero, y posee el número 266.801 “Estructura reticular estérea plegable” (Img. 47 y 48).



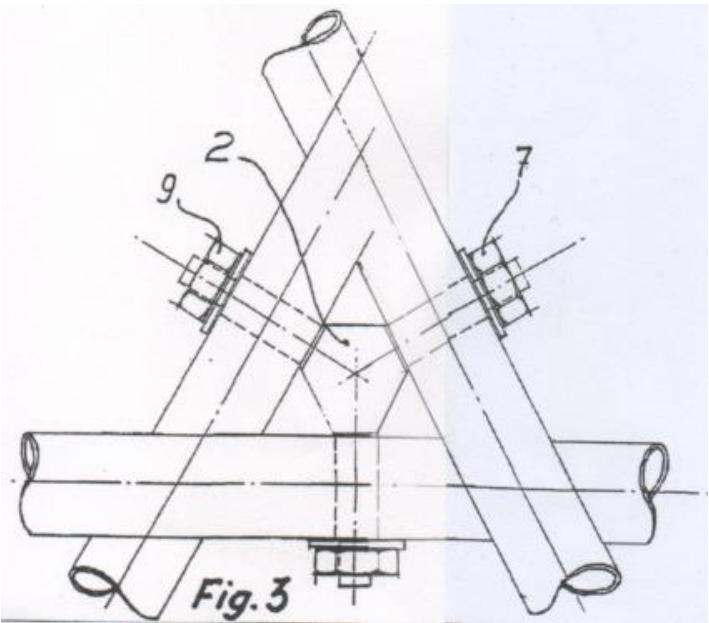
Img. 42 y 43 Estructura desplegable para teatro ambulante, de Piñero. Plegada sobre camión de juguete (izquierda) y desplegada (derecha).⁽²⁵⁾



Img. 44, 45 y 46 Piñero con la estructura desplegable para teatro ambulante en diferentes fases de desplegado.⁽²⁵⁾



Img. 47. Ilustración de la patente de Emilio Piñero número 266.801, de “Estructura reticular estérea plegable”



Img. 48. Ilustración de la patente de Emilio Piñero número 266.801, de “Estructura reticular estérea plegable”

El carácter de los tiempos, donde, como ya hemos expuesto en el apartado anterior, la arquitectura ambulante jugó un papel central en la década de los sesenta, hizo que se reuniesen en el jurado del concurso, Félix Candela, Ove Arup y Richard Buckminster Fuller. La propuesta de Pérez Piñero fue brillante e innovadora, lo que hizo que el jurado le conceda de forma unánime el primer premio y califican sin dudarla la invención como una aportación técnica de primer orden.

A partir de ese momento la vida de Pérez Piñero y Felix Candela quedará ligada, por una profunda amistad y futura colaboración.

La obra de Perez Piñero se caracteriza de una intensidad que dura once años, interrumpida por una muerte prematura (1972), en un accidente de coche cuando volvía de Figueras, donde construía la cúpula geodésica del Museo Dalí.

Un breve recorrido por su trabajo y reconocimientos en estos años, pondrá de manifiesto esa intensidad a la que hacía mención con anterioridad.

En el mismo año que gana el premio que lo colocaría en el panorama actual de las estructuras desplegables, recibe también la Medalla de Oro en la Bienal de Arte, Arquitectura y Teatro de Sao Paulo, Brasil.

En 1962 expone en Munich y en Tokio varias de sus propuestas de estructuras desplegables y recibe la Medalla de oro y Felicitación especial del Jurado en la Exposición de Patentes de Bruselas.

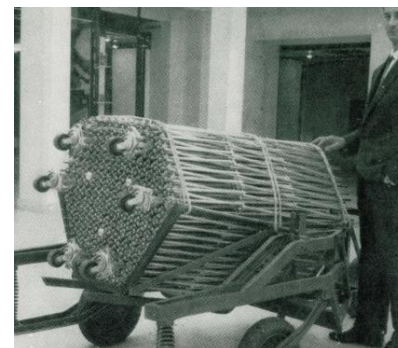
Cuando finaliza sus estudios de arquitectura se convertirá en profesor adjunto de estructuras en la universidad donde estudió, y da a conocer sus estructuras en Madrid.

Mientras trabaja como profesor, en 1964 se presenta y gana el concurso para el “Pabellón Transportable de Exposiciones” que promociona el Ministerio de Información y Turismo, finalizándose su construcción ese mismo año e inaugurándose en Madrid (Plaza de los Ministerios) (Img. 49). Se convierte así en la primera estructura desplegables de gran tamaño construida. La idea era que pudiese ser transportada a distintos emplazamientos, y así se hizo, siendo inaugurada en San Sebastián en septiembre del 64 y en Barcelona en diciembre de ese mismo año.

Este proyecto se basa en módulos desplegables cuadrados de haces, de dimensiones 12x9 m, que unidos cubre una superficie total de 8.000 m². Los módulos plegados ocupan un espacio reducido de 0,80x0,70 m, y son fácilmente desplegables, al realizarse este en el suelo sobre unas ruedas. La estructura se rigidiza una vez desplegada, empleando barras independientes. Posteriormente era izada sobre unos soportes unidos rigidamente, y se le colocaba una cubierta de chapas ajustables herméticamente.

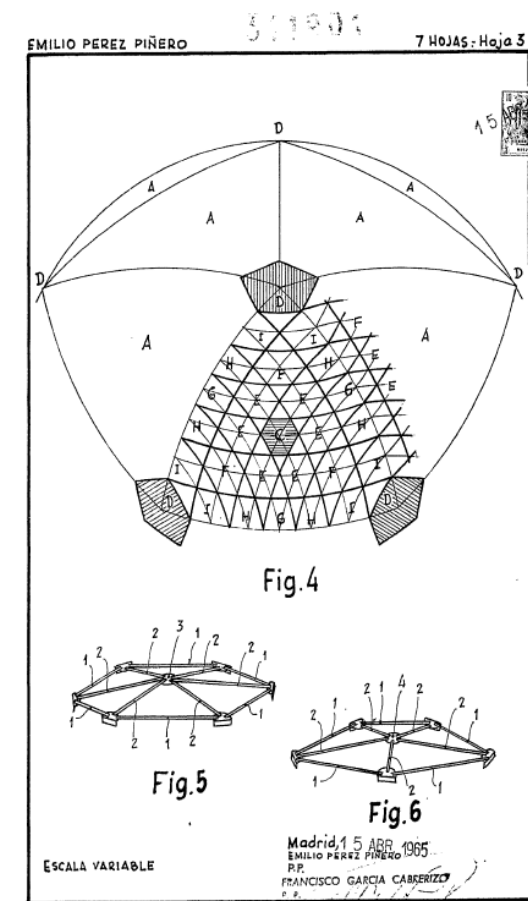


Img. 49. Pabellón transportable para exposiciones, 1964, Emilio Perez Piñero. ⁽⁴⁾



Img.50. Pérez Piñero junto con un paquete plegado de una cúpula reticular desplegable ⁽⁴⁾

En 1965 Piñero construye una serie de teatros desmontables resueltos con cúpulas geodésicas de módulos rígidos, estas son patentes propias (patente núm. 311.901 “Sistema de montaje de una estructura resistente esférica triangulada”) (Img.51). Uno de los teatros es instalado en la Plaza de María Pita en A Coruña (Img. 52).



Img. 51. Imagen de la patente nº 311.901



Img. 52. Teatro desmontable modular instalado en la Plaza de María Pita en A Coruña, 1965. ⁽²⁵⁾

Uno de los últimos trabajos que Pérez Piñero realizó fue la vidriera hipercúbica desplegable (1969), para el cierre del escenario del Museo Dalí en Figueras, a petición del propio Dalí. Es una estructura que se basa en módulos cuadrados de haces, que se despliegan de forma automática mediante un sistema hidráulico, a partir del centro de una cruz fija en el escenario. Lo interesante de esta propuesta es que incorpora 84 placas de vidrio de 1x1m, que se despliegan al mismo tiempo que la estructura de barras, hasta alcanzar una superficie totalmente plana. La vidriera, pintada por el propio Dalí, da diferentes imágenes durante las fases de despliegado, gracias a la superposición de las diferentes piezas. La geometría de la estructura está basada totalmente en el cubo, desde su posición inicial, totalmente plegado, formando un único cubo, hasta su posición final, totalmente desplegada, formando una consecución de cubos identificados por sus diagonales. (Img. 53 a 57) El sistema de la vidriera hipercúbica está recogido en una de las patentes de Pérez Piñero con el número 397.963 “Sistema de planos articulados cubriendo una estructura reticular estérea”.

La vidriera hipercubica fue el primer paso para seguir trabajando en el campo de las cubiertas desplegables de placas rígidas.



Img. 53, 54 y 55. Modelo de la vidriera hipercúbica a escala 1/3, en diferentes fases de desplegado.⁽²²⁾



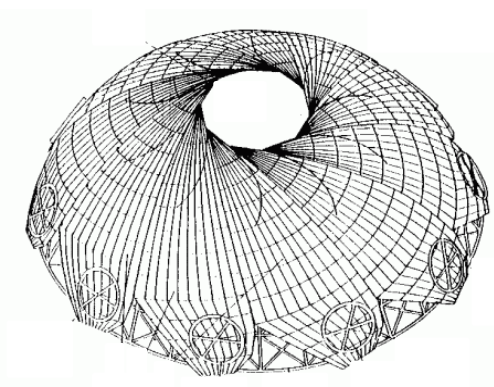
Img. 56. Piñero y Dalí presentando la vidriera hipercúbica en París, bajo la Torre Eiffel.⁽¹⁶⁾



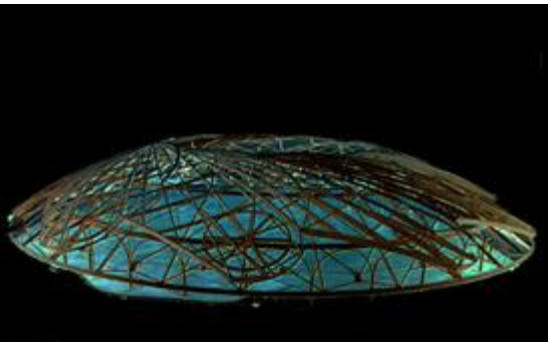
Img. 57. Vidriera hipercúbica pintada.⁽²²⁾

Como reconocimiento a su gran labor, poco antes de su muerte en 1972, le conceden el Premio Auguste Perret de la U.I.A., premio internacional de mayor importancia.

Incluso posteriormente a su muerte en las I Jornadas de Cubiertas de Grandes Luces desarrolladas en la Escuela de Arquitectura de Sevilla, el hijo de Pérez Piñero presentó una de las últimas obras en las que el autor estuvo trabajando, una cúpula reticular practicable de directriz esférica y que queda recogido en la patente 9102733 “Cúpula reticular practicable de directriz esférica” (Img. 58). Esta cúpula está constituida por piezas móviles, iguales entre sí, con forma de triángulos esféricos, que acopladas con un eje por su base a una pieza inferior permite que estas giren simultáneamente, abriendo o cerrando el espacio que cubren. El movimiento de desplegado o plegado se puede interrumpir, lo que permite diferentes grados de apertura (Img.59).



Img. 58. Imagen de la patente 9102733, de la cúpula reticular de directriz esférica.



Img. 59. Maqueta de la cúpula reticular practicable de directriz esférica.⁽²²⁾

La primera propuesta de Piñero, la del teatro ambulante, fue considerada innovadora para su tiempo, pero lejos de quedarse enfrascado en su obra primogénita, y que su trabajo posterior girase en torno a ella, evolucionó, y se puede ver que en cada proyecto y propuesta nueva, presentaba diferentes modificaciones y elementos nuevos, todos ellos de gran eficacia, que resolvían problemas anteriores. Nuevos nudos, nuevas formas de las barras, diferentes formas de las cubiertas, en cada propuesta encontramos algo nuevo que hace única su labor.

Un problema importante que tenemos que tener en cuenta, acerca de las estructuras de haces de tres y cuatro barras empleadas por Piñero en sus estructuras desplegables, es que eran necesarios nudos de gran complejidad, incluso, en ocasiones, el empleo de barras dobladas para evitar las excentricidades en los nudos. Este es uno de los motivos por los que en el futuro, algunos de los autores que continúan la estela de Piñero, como Valcarcel y Escrig, se centran en el desarrollo de estructuras con módulos de aspas planas, mucho más sencillas de resolver.

Aun siendo considerado el pionero de las estructuras desplegables, no podemos olvidar que no se dedicó en exclusiva a ellas. Fue importante su aportación en el campo de las cúpulas geodésicas, en un artículo publicado en 1968, Pérez Piñero presenta diferentes sistemas de montaje de estructuras de nudos rígidos, empleando bien barras aisladas, como Fuller, bien sistemas prefabricados mediante secciones más o menos grandes de la estructura.

En estos años se intensificó la investigación de las cúpulas geodésicas, gracias a la labor de diferentes autores y la popularidad que estas estaban alcanzando. Hasta el momento, se concebían las estructuras geodésicas como grupos de barras aisladas, que se unían en nudos de diferentes tipos. Esta forma de construir estas estructuras geodésicas hacía que resultase complicado su montaje, teniendo gran número de elementos a colocar.

Por el contrario Piñero aborda el problema, considerando la cúpula dividida en diferentes módulos rígidos, que ya vienen soldados de fábrica, de este modo hace que el ensamblaje de los diferentes módulos en obra resulte más sencillo. El inconveniente de construir con módulos, es que el tamaño de estos está limitado por los medios de transporte de la época.

Este sistema de módulos, fue el que se utilizó en las cúpulas gemelas, anteriormente mencionadas, construidas en la Plaza de María Pita en A Coruña para “Festivales de España”, celebrado en el año 1965.

Gracias a su gran amistad con Felix Candela, y el trabajo de este en EE.UU, Piñero es recibido en 1969 en los laboratorios de la N.A.S.A., los cuales, gracias a que Candela les había hablado del trabajo de su amigo, se interesan en sus estructuras para construir unos invernaderos en la Luna. El proyecto viene respaldado por el hecho de que investigaciones recientes reflejaban que el polvo lunar hacía crecer 4 o 5 veces más rápido un cultivo vegetal. El proyecto no llega a buen fin, debido a problemas surgidos con el departamento de inteligencia de EE.UU. De esta manera el sueño del arquitecto español de construir una estructura en la Luna llega a su fin.

Problemas anteriores, con otro departamento de inteligencia, en este caso mexicanos, ya habían dado al traste con otro proyecto de Piñero, que consistía en construir una base en la Antártida, proyecto solicitado por el departamento de Marina de EE.UU.

Es interesante realizar un breve análisis de las obras de Piñero, teniendo en cuenta que el comportamiento de sus estructuras es de difícil comprensión, puesto que se deducen del análisis de los modelos construidos. Esto se debe a que Pérez Piñero, no se dedicó a realizar muchas publicaciones, ni siquiera, a realizar escritos explicativos de sus obras, más bien el papel era el último lugar al que llegaban estas. Tampoco abordó cuestiones de cálculo. Los pocos documentos explicativos que existen son los de sus cuatro patentes. La difícil comprensión de sus estructuras y la falta de documentación es, posiblemente, el motivo por el que su trabajo no ha sido continuado masivamente tras su muerte.

Aunque consideramos a Pérez Piñero el pionero de las estructuras desplegadas, no nos podemos olvidar de otro gran arquitecto como es Frei Otto. Aunque, la mayor parte de su trabajo, lo desarrollo en el campo de las estructuras ligeras tensadas permanentes, también tiene obras muy valoradas en el campo de las estructuras desplegadas.

FREI OTTO. UN MAESTRO EN ESTRUCTURAS LIGERAS

El arquitecto alemán Frei Otto, ha sido considerado uno de los arquitectos más relevantes del siglo XX. Esto se ha debido a la intensidad de su trabajo y las aportaciones en el campo de las estructuras ligeras. Ha sido un gran representante, junto con Buckminster Fuller, de la arquitectura orgánica, y de la integración de la arquitectura en el entorno. Consideraba de gran importancia tener una relación simbiótica además de simbólica con la naturaleza, lo cual se ve reflejado en toda su obra. Los mínimos materiales, las mayores prestaciones, lo temporal convertido en permanente, las formas orgánicas y la sostenibilidad son los ideales básicos que definen a este arquitecto.

El trabajo de Frei Otto ha sido reconocido mundialmente y es la mayor autoridad en estructuras tensadas y de membrana de bajo peso, fundando en 1964 el Instituto para Estructuras Ligeras en la Universidad de Stuttgart.

Sus trabajos se basan en estructuras tensadas de cables metálicos, combinadas en ocasiones con membranas textiles o módulos rígidos ligeros. Consiguió cubrir grandes superficies con estructuras de ese tipo, solo con apoyos exteriores perimetrales, lo cual convertía sus trabajos en obras de gran singularidad y funcionalidad. Una de sus obras más representativa, es el trabajo realizado para los Juegos Olímpicos de Munich en 1972, donde cubrió el Estadio Olímpico en colaboración con Gunther Behnisch y Jörg Schlaich que realizaron la conexión del todo el parque olímpico (Img. 60), cubriendo todo con redes de cables.

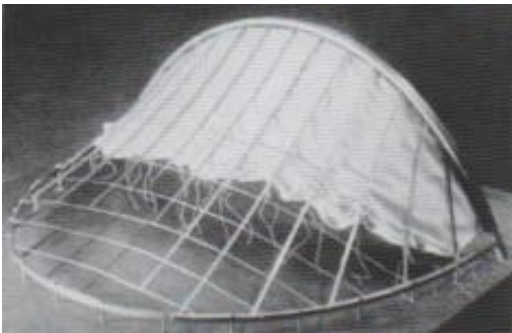


Img.60 Parque de los Juegos Olímpicos de Munich, 1972. ⁽⁴⁴⁾

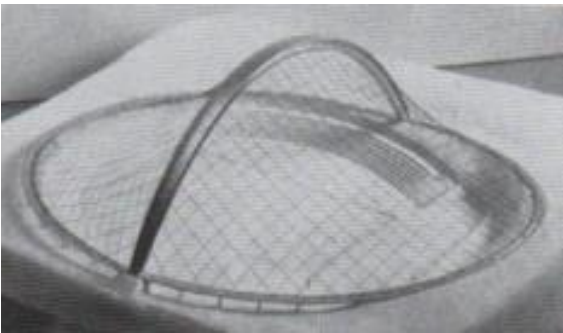
En este caso de estudio, no entraremos en detalle en todas sus obras, sino que nos centraremos en sus trabajos de estructuras desplegadas o móviles. Debemos aclarar que sus trabajos se circunscriben fundamentalmente a estructuras fijas en las que el elemento de cerramiento es retráctil. No son estructuras desplegadas propiamente dichas.

Otto diseñó su primer techo retráctil de gran envergadura para el teatro al aire libre en Killesberg, Stuttgart, en 1954 (Img. 61 y 62), el cual no fue ejecutado. La propuesta de Otto para el teatro oval de 60x75 m, consistía en un arco fijo de acero, sobre el eje menor del ovalo, y una malla de cables que se extendían desde este hasta el

perímetro de la base. La membrana textil colocada para proteger el recinto de la lluvia se desplegaba sobre estos cables desde el arco.



Img.61 Maqueta del teatro al aire libre de Killesberg, Stuttgart, 1954. Con textil retráctil.⁽⁶⁾



Img.62 Maqueta del teatro al aire libre de Killesberg, Stuttgart, 1954.⁽⁶⁾

La siguiente oportunidad le surge a través del concurso de ideas en Bad Hersfeld, Alemania que se realizó en 1959. Se buscaba un techo para cubrir el teatro al aire libre de las ruinas del monasterio de esa localidad. Las condiciones previas para el diseño de la cubierta fueron: que no se alterasen los edificios históricos que lo rodean, que no afectase a la impresión general de la puesta en escena romántica y que además, fuese retráctil para ser desplegado solo cuando las condiciones climáticas lo exigiesen. Otto y su equipo presentan un diseño de un techo de membrana retráctil de un solo mástil. El mástil de 32 m se colocó junto a la nave, y posee dos cable en la parte trasera y 14 en la delantera, que corren radialmente a través de espacio a cubrir. Los cables delanteros soportan la membrana que se desliza por estos mediante unos carritos especialmente diseñados. La membrana desplegada cubre un espacio de 1.315 metros cuadrados y se tarda solo 4 minutos en desplegarla completamente. A pesar de que la propuesta de Otto resultó ganadora del concurso, la construcción no se realizó hasta el año 1968 (Img. 64 y 65).

El mismo sistema de un solo mástil fue utilizado posteriormente para la terraza del Palm Beach Casino en Cannes, Francia, en 1965 (Img. 66), y para cubrir una piscina en Boulevard Carnot en París, Francia, en 1966 (Img. 67). Estos proyectos fueron desarrollados en conjunto con el arquitecto francés Roger Taillibert, que patentó el sistema utilizado en la cubierta de la piscina.

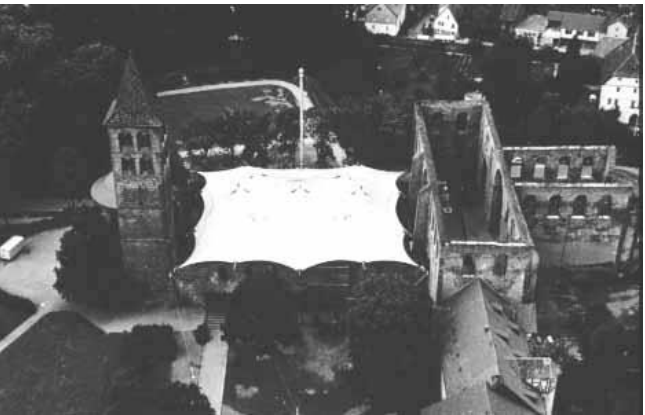
Cabe mencionar, que el proyecto más importante de estructura retráctil de Roger Taillibert, ha sido el Estadio Olímpico de Montreal, Canadá, para los Juegos Olímpicos de 1976 (Img. 63), que se basa también en el sistema de un solo mástil, y cubre casi 20.000 metros cuadrados. Este proyecto no se finalizó a tiempo para los juegos, sino que se concluyó en 1987, superando ampliamente el presupuesto inicial.



Img.63 Estadio Olímpico de Montreal. Roger Taillibert. 1976⁽²¹⁾



Img.64 Vista interior de la cubierta retráctil semidesplegada de Bad Hersfeld, Alemania.⁽⁶⁾



Img.65 Vista aérea de la cubierta retráctil desplegada de Bad Hersfeld, Alemania.

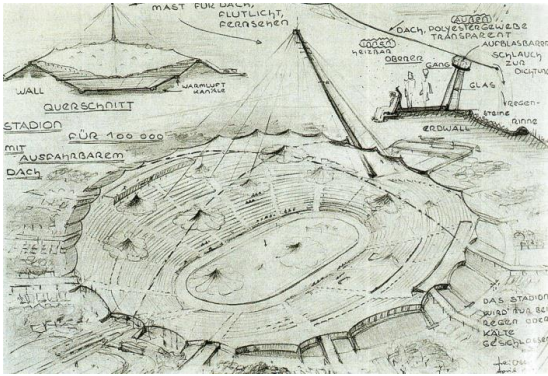


Img. 66 Cubierta de la terraza del Palm Beach Casino en Cannes, Francia.⁽⁶⁾



Img. 67 Vista interior de la cubierta retráctil de la piscina en el Boulevard Carnot, París, Francia.⁽⁶⁾

Una de las principales obras de estructura retráctil de Frei Otto, es la propuesta para el techo del estadio principal de los Juegos Olímpicos de Munich en 1972 (Img. 68 y 69), por la que se incorporó como consultor. Otto ni siquiera había participado en el concurso para ese proyecto, que tuvo lugar en 1967, pero dibujó algunos bocetos para una estructura de cubierta desplegable para grandes superficies, que también utilizaba el sistema anterior de un solo mástil, y los publicó ese mismo año con el nombre de Multimedia Stadium. En 1970, el estudio de viabilidad basado en ese dibujo se llevó a cabo con financiamiento de Hoechst AG. La altura del mástil principal era de 180 m y el diámetro era de 5-6 m, que se suponía iba a permitir a los visitantes el acceso a su interior. Una gran membrana retráctil colgaba del mástil, con una superficie de 60.000 metros cuadrados, que no sólo cubría el campo de juego. Sino también las tribunas de los alrededores, como restaurantes, cafeterías, zona de exposiciones y centro comercial. Este proyecto único fue suspendido debido a la crisis del petróleo de principios de los 70.



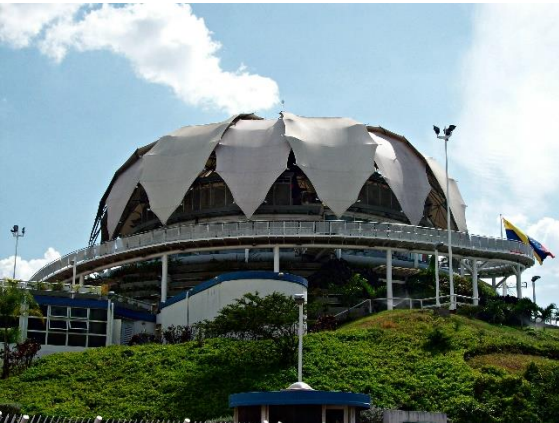
Img .68 Boceto de Otto del Multimedia Stadium. 1967⁽⁶⁾



Img. 69 Diseño de la cubierta para el estadio olímpico de Munich. 1970⁽⁶⁾



Img. 71 Pabellón de Venezuela con la cubierta abierta. Expo 2000 Hannover



Img. 72 Pabellón de Venezuela con la cubierta cerrada. Expo 2000 Hannover

Otto, diseña en para la Exposición Federal de Jardinería de 1971 en Cologne, Alemania, una serie de estructuras, entre las que destacan las sombrillas que se colocarán cerca del pabellón de baile (Img. 70). Son similares a las que ya había diseñado para la exposición de 1957, pero en este caso se despliegan el doble que las anteriores. Las sombrillas tienen forma de embudo, y difiere de las sombrillas habituales en que el sistema de apertura está situado por encima de la piel de esta. La sombrilla se abre de forma motorizada, deslizando un elemento tubular, al que van unidas las varillas que conectan la membrana, por el mástil central. Todas ellas cubren una superficie de 220 metros cuadrados. Posteriormente se ha utilizado el mismo sistema en otros lugares.

En 1999, el arquitecto sudamericano Fruto Vivas, le pide ayuda a Frei Otto para diseñar el pabellón de Venezuela para la Expo 2000 en Hannover. Junto con Bodo Rasch y Jürgen Bradatsch desarrollan el proyecto del pabellón que recibe el nombre de “Una flor de Venezuela para el mundo” (Img. 71 y 72). La cubierta consiste en 16 piezas que pueden ser abiertas y cerradas hidráulicamente, como si fuesen los pétalos de una flor. El solape entre los diferentes segmentos hace que el techo proporcione protección frente al viento y a la lluvia cuando está cerrado. Con buen tiempo los segmento pueden ser abiertos (aproximadamente en dos minutos) proporcionando un espacio con sombra y ventilado. Los elementos individuales del sistema tienen un largo aproximado de 10 metros y consisten en una membrana superficial de doble curvatura que se extendía a través de un marco delgado de acero. Los elementos van sujetos a un mástil central de aproximadamente 18 metros de altura. El pabellón fue desmontado en al finalizar la Expo y trasladado a Venezuela para ser montado de nuevo en Barquisimeto, estado de Lara.



Img. 70 Sombrillas de la Exposición Federal de Jardinería en Cologne, Alemania. 1971⁽⁶⁾

Pérez Piñero sentó una base de estudio, que sería continuada por diversos autores en un futuro. Nombres como Chuck Hoberman, Felix Escrig, Juan Pérez Valcarcel, Carlos Henrique Hernandez, Sanchez Cuenca, Jörg Schlaich y muchos más, han continuado desarrollando y estudiando las estructuras ligeras y desplegables inspirados por Piñero, por Fuller, y por aquellas utopías de los 60 a las que nos hemos referido.

CONTINUACIÓN DE UN LEGADO. HOBERMAN Y SCHLAICH BERGERMANN AND PARTNER

CHUCK HOBERMAN

Como ya comentamos el legado de Emilio Pérez Piñero en el campo de las estructuras desplegables y el trabajo de R. Buckminster Fuller en la geodesia, han marcado una línea de estudio posterior, influenciando los trabajos de muchos autores.

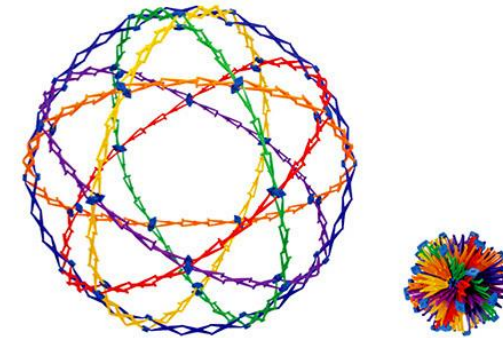
Uno de esos autores es el norteamericano Chuck Hoberman, nacido en Massachusetts en 1956. Hoberman trabaja tanto en el campo de la arquitectura como de la escultura, habiéndose dedicado en general a la pequeña dimensión. En 1990 funda Hoberman Associates, Inc, que se dedica al desarrollo de estructuras móviles y desplegables.

Entre las obras de Hoberman destaca como su obra más emblemática la esfera Hoberman, esfera que se asimila a una geodésica pero con la capacidad de plegarse en un paquete de pequeño tamaño. Esta capacidad de plegado viene otorgada mediante la unión de las piezas que la componen en tijeras o aspas, permitiendo una gran variación dimensional. La obra original fue instalada en 1992, suspendida de cables, como pieza central de una exposición en el Liberty Science Center en Nueva Jersey y posteriormente en 2007 reinstalada en el hall del museo recientemente renovado (Img. 73, 74 y 75). Es una obra que pesa 318 kg, y se expande hasta alcanzar un diámetro de 5,5m. Durante su larga historia se ha convertido en el icono del museo, también debido a su continuo y lento movimiento de contracción y extensión que capta la atención de los visitantes.



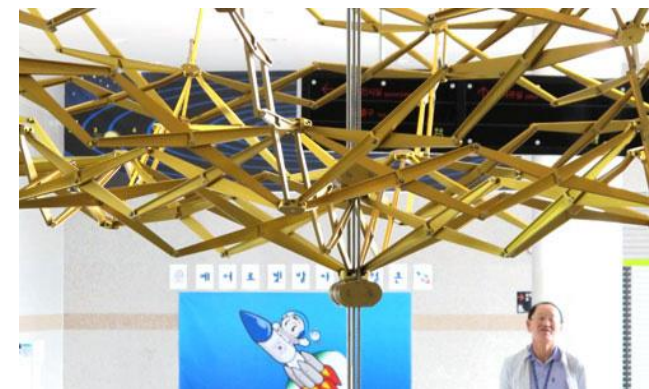
Img. 73,74 y 75. Esfera Hoberman original instalada en el Hall del Liberty Science Center, NJ. Fases de plegado y desplegado. ⁽⁴⁵⁾

Pero la mayor difusión de la esfera Hoberman no ha sido en la arquitectura ni en la escultura, sino que se ha producido en el campo de la juguetería. Se ha popularizado como juguete infantil fabricado en plástico de colores, con menor escala que la original puede alcanzar extensiones de entre 15 y 70cm (Img. 76).



Img. 76. Esfera Hoberman popularizada como juguete infantil.

Un enfoque más minucioso sobre el trabajo de Hoberman, nos demuestra que ha utilizado su esfera en el mundo del arte y la decoración, más que como parte estructural de una construcción. Hoberman ha creado esferas retráctiles para la decoración de diversos eventos, así como para museos, alrededor de todo el mundo, siempre con resultados espectaculares. Podemos destacar entre ellos los trabajos realizados para el Korea Aerospace Research Institute (Korea) en 2011 (img. 77), el Museo AHHA Science Center (Estonia) (Img.78) en el mismo año, y diferentes eventos como la Feria CeBIT 2010 en Hanover (Alemania) o la North American International Auto Show (USA) en 2012.



Img. 77. Detalle inferior de la esfera Hoberman en el Korea Aerospace Research Institute. Korea, 2011. ⁽²⁶⁾



Img. 78. Esfera Hoberman plegada en el Museo AHHA Science Center. Estonia, 2011. ⁽²⁶⁾

Otra de las creaciones de Hoberman es la Iris Dome. Se trata de un sistema desplegable de aspas, que se abre y se cierra como el iris de un ojo. Es presentada en una exposición en el MoMA en 1994, y supone la introducción de un nuevo tipo de cubierta retráctil (Img. 79 y 80). La cúpula posee paneles de cubierta rígidos unidos a la estructura, que se deslizan unos sobre otros para formar la piel de la estructura una vez que esta está

desplegada. Se instalaron dos piezas para la exposición: un modelo de 100 metros a escala 1:100, y otro modelo practicable de 1/8 a una escala de 1:5. Este último se extendía 9 metros sobre los visitantes del museo.



Img. 79. Iris Dome desplegado en la exposición del MoMA, 1994. ⁽²⁶⁾



Img. 80. Iris Dome plegado en la exposición del MoMA, 1994. ⁽²⁶⁾

La primera instalación exterior de la Iris Dome fue la situada al lado del Pabellón de Alemania en la Expo2000, en Hannover (Img. 81 y 82). La cúpula celebró la reconstrucción de la legendaria catedral Frauenkirche de Dresde, que fue destruida durante la Segunda Guerra Mundial. El perfil de la estructura recordaba a la cúpula original de la catedral. Colocada sobre una columnata los visitantes podían acceder al interior para ver una maqueta de la catedral reconstruida.



Img. 81. Iris Dome desplegado en la Expo2000 en Hannover. ⁽²⁶⁾



Img. 82. Iris Dome plegado en la Expo2000 en Hannover. ⁽²⁶⁾

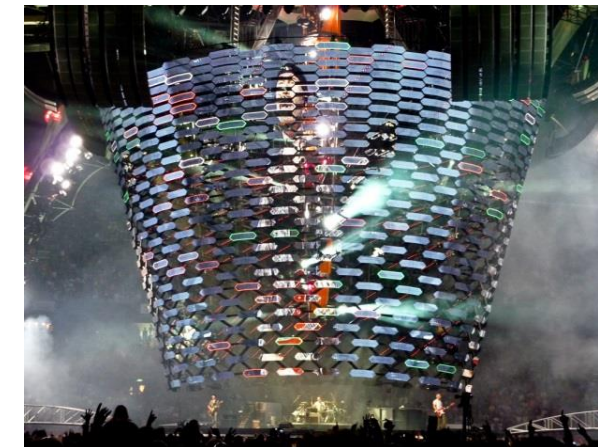
En el año 2002, Hoberman diseña el cierre del escenario de los juegos olímpicos de invierno de Salt Lake City. El sistema es denominado Hoberman Arch (Img. 83), y se pliega de la misma manera que la Iris Dome pero formando un arco cuando esta plegada en su totalidad. También incluye piezas rígidas triangulares unidas a la estructura que forman la piel del cerramiento una vez desplegado este totalmente.

En ese mismo año, en 2002, a Hoberman, le surge un reto de la mano de la banda de rock U2, que buscan una pantalla diferente para su gira 360°. Hoberman junto con sus socios de ingeniería estructural, Buro Happold, diseñan una pantalla de video elíptica, aproximadamente del tamaño de una pista de tenis, que podía

transformarse en una estructura en forma de cono de siete pisos, que envuelve a la banda mientras se despliega (Img. 84 y 85). La estructura estaba formada de acero y aluminio, poseía 888 pantallas LED, que generaban 3.800 metros cuadrados de área de visualización.



Img. 83. Hoberman Arch, Juegos olímpicos de invierno, Salt Lake City 2002. ⁽²⁶⁾



Img. 84. Pantalla central desplegada del escenario de la gira 360 ° de U2. ⁽²⁶⁾



Img. 85. Pantalla central plegada del escenario de la gira 360 ° de U2.

A parte de los trabajos mencionados anteriormente, Hoberman junto con Hoberman Associates, han desarrollado más sistemas de elementos móviles para diferentes funciones, como por ejemplo, cabe destacar, los sistemas de control solar y luminoso, que juegan con la superposición de varios cristales porosos para conseguir diferentes grados de transparencia u opacidad.

SCHLAICH BERGERMANN AND PARTNER

La empresa Schlaich Bergermann and Partner la fundan en 1980, los ingenieros alemanes Jörg Schlaich y Rudolf Bergermann. Ambos habían trabajado juntos en la empresa de ingeniería Leonhard und Andrä en Stuttgart, durante los años 60 y 70. Durante el tiempo que pasaron trabajando para la citada empresa, desarrollan diversos proyectos entre los que destaca la cubierta del Estadio Olímpico de Munich, junto con Frei Otto, para los Juegos Olímpicos de 1972 (Img. 60).

El trabajo realizado por ambos ingenieros, se caracteriza por la versatilidad de sus obras y por la implicación con la sostenibilidad y el medio ambiente. Desarrollan estructuras ligeras, desplegables, estructuras tensadas de membranas y cables de acero, estructuras laminares de hormigón, así como números proyectos de ingeniería civil, donde destacan numerosos puentes.

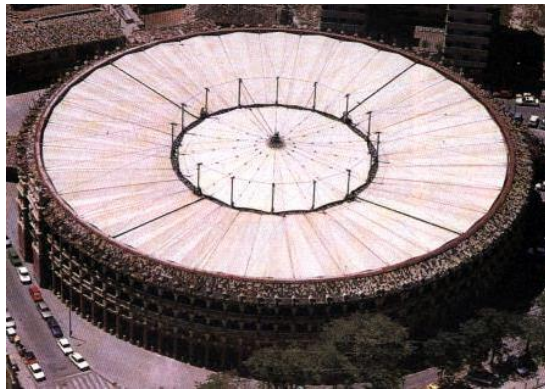
Nos centraremos en los proyectos de estructuras desplegables y móviles, por tratarse del tema a estudiar.

Ya con su empresa fundada, Schlaich Bermann and Partner, colaboran en la finalización de la construcción del Estadio Olímpico de Montreal, mencionado anteriormente (Img. 63), como consultores, a través de la empresa de ingeniería Lavalin que se encargó de finalizar la obra.

En 1989, son contratados para diseñar un techo para la plaza de toros de Zaragoza. Hasta el momento la plaza, construida en el siglo 18, no podía ser utilizada los 365 días del año, debido al clima. Para el diseño de esta cubierta se tenía que tener en cuenta que tenía que poder proteger completamente la arena para diferentes eventos, como conciertos, y que tenía que ser descubierta para eventos taurinos y de otro tipo. También había que tener en cuenta que no podía alterar la vista antigua del recinto, por lo que era mejor un techo que no se viese desde el exterior, y por último, destacar que tenía que ser una cubierta ligera ya que iba a ser colocada sobre una edificación antigua ya existente.

Todos estos factores, derivaron en la elección de una cúpula de suspensión, con una parte interior retráctil.

La cubierta se compone de un anillo exterior de compresión del que parten una serie de cables radiales, superiores e inferiores, hasta unas barras de 6 metros que aseguran la distancia entre los anillos de tensión superior e inferior, colocados hacia el interior de la plaza. Toda esta estructura está cubierta por una membrana fija. La segunda parte de la cubierta la compone una estructura de cables en forma de rueda de radios que se integran con la primera parte. La membrana que cubre esta parte central es retráctil, y se desliza mediante unos carros por los cables radiales interiores, hasta convertirse en un paquete suspendido en la parte central. (Img. 86 y 87)



Img. 86 Vista aérea de la plaza de toros de Zaragoza, con la cubierta cerrada.⁽⁴⁶⁾



Img. 87 Vista interior de la plaza de toros de Zaragoza, con la cubierta semiplegada.

Este proyecto supuso un cambio en el tipo de estructuras retráctiles utilizadas, ya que se introduce el tipo de rueda de radios, que será utilizado para numerosos proyectos posteriores, principalmente para cubrir recintos deportivos.

Knut Göppert, uno de los directivos de Schlaich Bergermann and Partner desde 1998, junto con diseñó en 2005 la cubierta retráctil para el Estadio de Fútbol de Frankfurt, el Commerzbank Arena (Img. 88 y 89). El sistema utilizado es el mismo que el empleado en la Plaza de Toros de Zaragoza, de tipo rueda de radios. Pero en este caso varía la planta, que en vez de ser circular es rectangular, lo que hace que los motores utilizados para el pliegue y despliegue de la membrana central tengan que ser programados para moverse a diferentes velocidades para que todo llegue al punto final al mismo tiempo. La membrana plegada se guarda en el interior del video marcador situado en la parte central del estadio. La superficie a cubrir es de 8000 metros cuadrados y se diseñó exclusivamente para el verano.

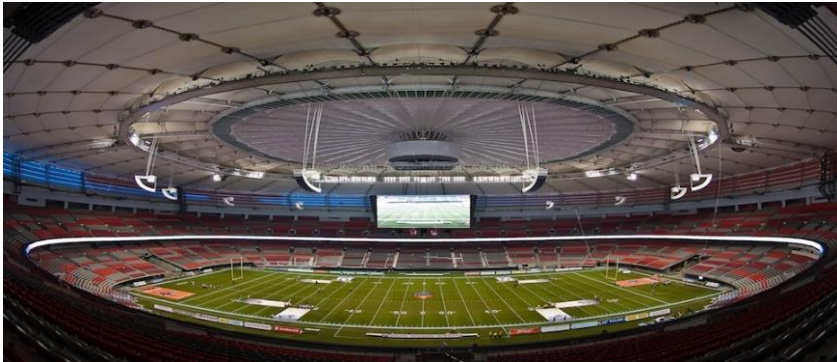


Img. 88 Vista interior del Estadio de Frankfurt, con la cubierta semidesplegada.⁽²⁹⁾



Img. 89 Vista interior del Estadio de Frankfurt, con la cubierta plegada.

El BC Palace de Vancouver poseía una cubierta neumática, que había sido la más grande en el momento de su construcción en 1982. En 2007 se produce un desgarró en ella, y después de su reparación se considera que debe ser sustituida por completo. El nuevo diseño, llega en 2011 de la mano de Schlaich Bergermann and Partner (Img. 90 y 91). Para el diseño de la nueva cubierta había que tener en cuenta que debía soportar grandes cargas de nieve, debido a la ubicación de la edificación. Para ello, se utiliza el sistema anteriormente descrito, aplicando a este un nuevo principio estructural, que utiliza un sistema neumático que contribuye a una mayor rigidez de la membrana. Cuando la cubierta se está desplegando, primero las cintas que hay entre los cojines neumáticos son pretensadas mecánicamente, mediante unos cilindros hidráulicos que están situados en el perímetro del techo interior. Posteriormente los cojines se inflan a una presión entre 500 Pa y 2000 Pa en función de las condiciones ambientales. La presión de inflado se decide mediante un sensor magnético unido a los cables de suspensión. La apertura completa se realiza en aproximadamente 20 minutos. Se trata de un híbrido entre una estructura retráctil y una neumática.



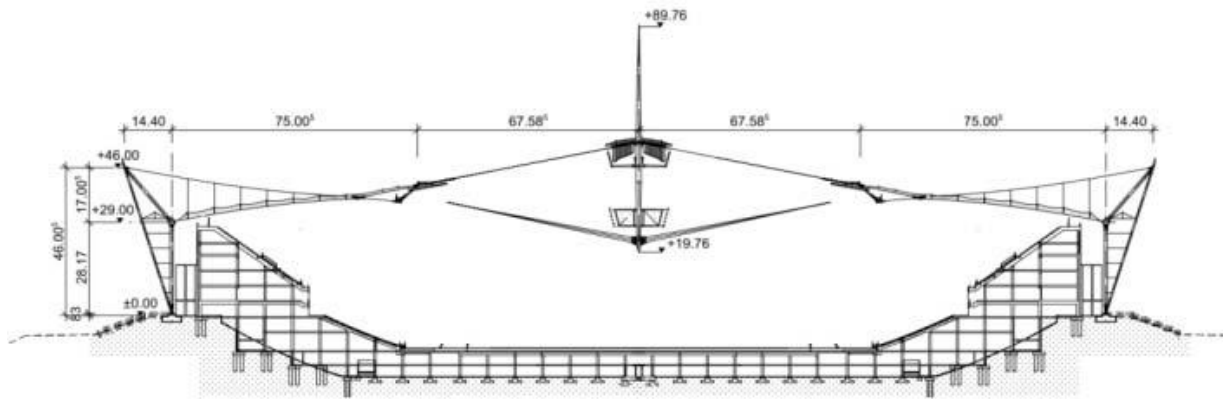
Img. 90 Vista interior del BC Place en Vancouver, Canadá, con la cubierta cerrada.



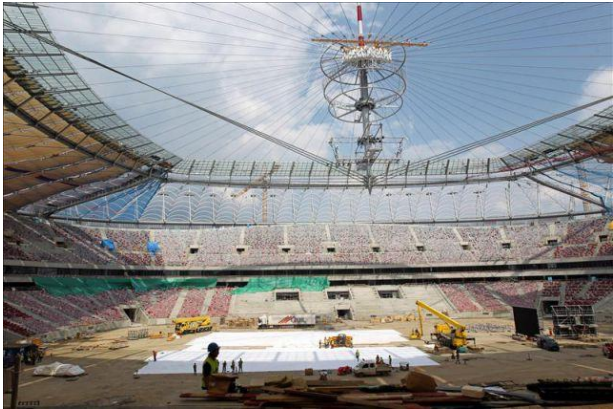
Img. 91 Vista exterior de la cubierta neumática retráctil con los brazos hidráulicos. BC Place en Vancouver, Canadá.⁽²¹⁾

El sistema anterior también se utiliza para el Estadio Nacional de Bucarest, en ese mismo año.

Para la Eurocopa del 2012, diseñan la cubierta del Estadio Nacional de Varsovia, en Polonia (Img. 92, 93 y 94), de nuevo una cúpula de suspensión. Las condiciones requeridas para este techo retráctil fueron estrictas, era una gran superficie a cubrir, de aproximadamente 11.000 metros cuadrados, y debía poder ser usada también en invierno, por lo que tenía que soportar las cargas de nieve. El sistema escogido en este caso es un sistema de membrana de una sola capa (sin estabilización neumática), con cables también en una sola capa, sin sistema de estabilización de los cables de suspensión. El sistema estructural primario es el mismo que el de Zaragoza, con la diferencia de que es 11 veces más superficie, y que tiene una forma casi cuadrada.



Img. 92 Sección del estadio de Varsovia⁽²¹⁾



Img. 93 Estadio de Varsovia en construcción.⁽⁴⁷⁾



Img. 94 Vista aérea del Estadio de Varsovia, con la cubierta plegada.⁽²⁹⁾

Otro tipo diferente de sistema de cubierta retráctil desarrollado por la empresa, en particular por el arquitecto Sija Tillner, es la colocada en el año 2000, para el Arkadenhof (Monumento histórico protegido) en Viena (Img. 95). Consiste en una membrana textil, que se pliega en forma de acordeón. Los carriles se sitúan a través de los lados largos de la azotea, por donde los carros y los cables transversales se deslizan. Los cables transversales, son los llamados cables de cresta, y entre ellos la membrana fue lastrada, lo que genera un valle que hace que se pliegue en forma de acordeón. Tiene unas dimensiones de 34 por 32 metros.



Img. 95 Vista de la cubierta de acordeón del Arkadenhof, Viena.⁽²⁹⁾

Ahora mencionaremos los proyectos de cubiertas móviles, de elementos rígidos más destacables.

En 2003, diseñan junto a Planinghaus Architekten, una cubierta para el Landschaftspark in Duisburg-Nord, Alemania (Img. 96), para realizar actuaciones exteriores en un festival. El sistema consiste en unos módulos realizados con marcos de rígidos y cojines neumáticos de ETFE. Estos módulos están situados sobre una estructura con forma de onda por la que se mueven en función de las necesidades. Tiene una medida de 29 por 20 metros.



Img. 96 Vista aérea de la cubierta de Landschaftspark, Duisburg-Nord, Alemania. (29)

La cubierta del Centro Integrado de Vista Alegre en Madrid, España, lo desarrollan en el año 2000, junto con el arquitecto Jaime Pérez del ayuntamiento de Madrid (Img. 97 y 98). Se trata de una cubierta de desplazamiento vertical, la cual puede abrir su parte superior desplazándose verticalmente respecto de la inferior.



Img. 97 Vista exterior del Centro Integrado de Vista Alegre, Madrid, España. Con la cubierta abierta.



Img. 98 Vista exterior del Centro Integrado de Vista Alegre, Madrid, España. Con la cubierta cerrada.

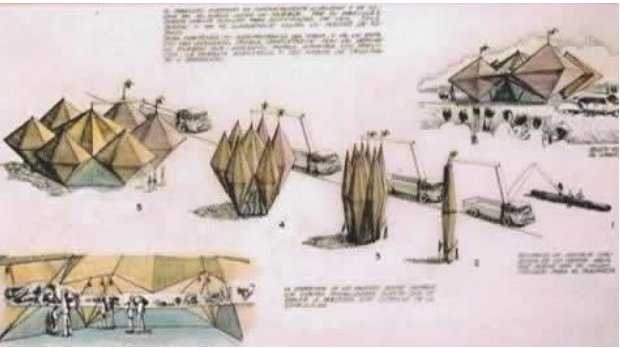
Desde el año 2002, Knut Göppert, Andreas Keil, Sven Plieninger, and Mike Schlaich están al frente de la empresa.

TRAS LA ESTELA DE PIÑERO: FÉLIX ESCRIG, JUAN PÉREZ VALCARCEL y JOSÉ SÁNCHEZ SÁNCHEZ

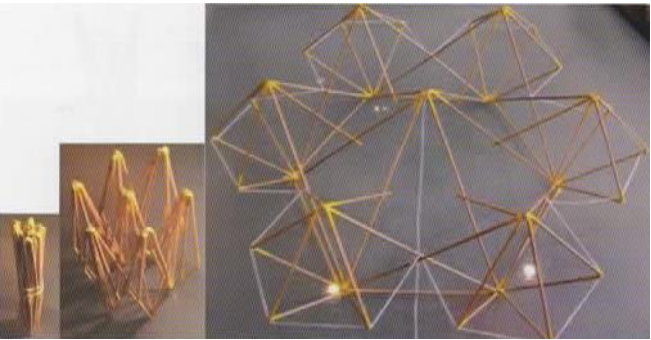
Félix Escrig Pallarés, nacido en Castellón en 1950, es uno de los arquitectos españoles más representativos de la arquitectura desplegable. Comienza su estudio y desarrollo en el campo de las estructuras desplegables influenciado en gran medida por el trabajo de Pérez Piñero y la corriente utópica de los años 60, gracias al libro “Architecture: Action and Plan” de Peter Cook.

La primera oportunidad para experimentar con este tipo de estructuras, le viene de la mano del Colegio de Arquitectos de Sevilla, que en 1982 convoca un concurso para construir un pabellón ambulante. La variante principal que introduce en su diseño para el pabellón ambulante, con respecto a las mallas de Piñero, es la utilización de aspas planas en lugar de las triaspas o módulos de haces que utilizaba este, debido a la complejidad que estas suponían, generando incluso barras dobladas para compensar las excentricidades en los nudos.

El pabellón que tenía forma hexagonal, estaba formado por módulos de barras de 8 metros que se desplegaban en aspas. La piel de la estructura estaba incluida en el paquete de barras, y se desplegaba al mismo tiempo que este. La apertura se realizaría mediante una grúa de forma rápida y eficaz (Img. 99 y 100). El proyecto no fue el ganador del concurso, por lo que nunca llegó a ser construido.



Img. 99 Propuesta para el pabellón portátil, Sevilla. (3)

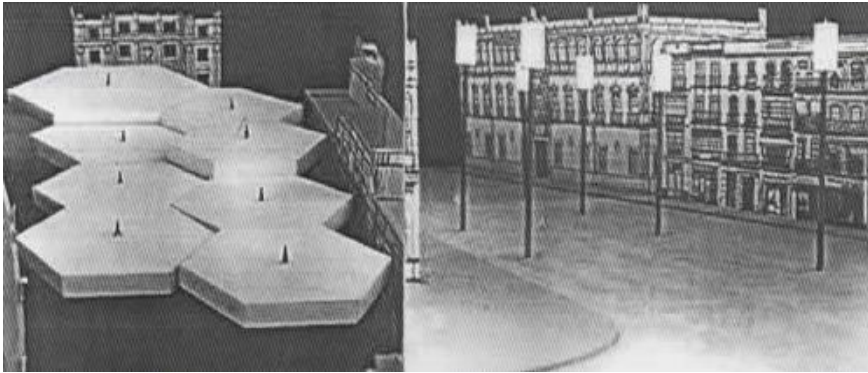


Img. 100 Maqueta de la estructura del pabellón de Sevilla. (3)

A raíz de este proyecto Escrig comienza un estudio intensivo sobre las posibilidades que aportan los módulos de aspas planas, y esto le lleva a la realización de su primera patente en 1984, “Sistema modular para la construcción de Estructuras Desplegables”, con número 532117.

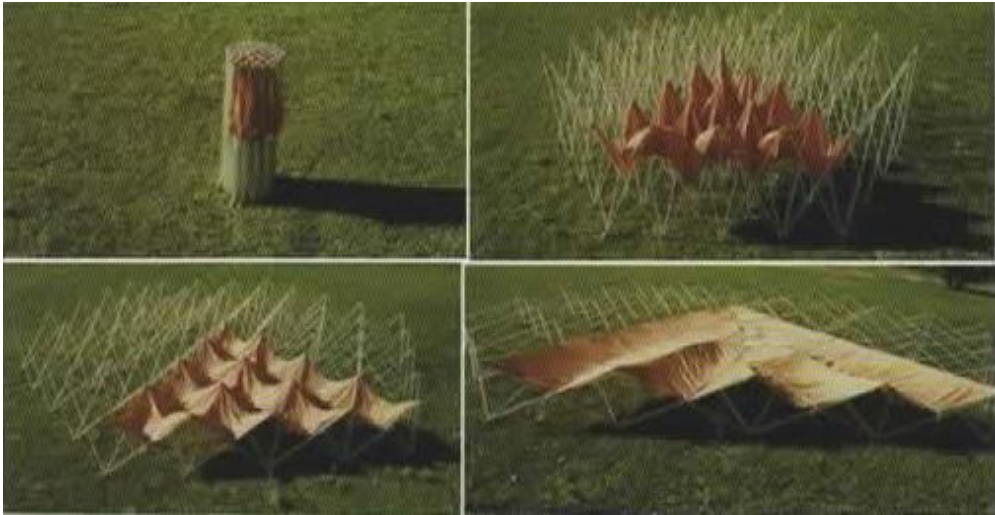
Unos años después, Escrig forma un pequeño equipo de trabajo, junto con Juan Pérez Valcárcel, arquitecto gallego, profesor de la Universidad de A Coruña, nacido en Lugo en 1951, y José Sánchez Sánchez, arquitecto andaluz, nacido en 1964, con el que trabaja en la Universidad de Sevilla. Juntos continúan con la línea de trabajo que años antes, había comenzado Félix Escrig sobre las aplicaciones de las aspas planas en las mallas desplegables.

Comienzan a trabajar sobre un tipo de sombrillas desplegables utilizando el sistema anterior, que aplicarán en el proyecto presentado para el Corpus de Sevilla de 1988, en la Plaza de San Francisco. Consistía en ocho sombrillas de planta hexagonal, formadas por módulos de aspas planas que se desplegaban sobre un mástil y formaban la cubierta de la plaza. El propio textil, colocado por la parte superior, colaboraba en la estabilidad de la estructura (Img. 101). Este proyecto tampoco llegó a realizarse.



Img. 101 sombrillas para el Corpus de Sevilla. Desplegadas (izq.) y plegadas (der.)⁽³⁾

Posteriormente, se realiza el diseño de una cubierta para el coso de la Maestranza de Sevilla, España (Img. 102), consistente en una cubierta plegable, mediante el sistema utilizado hasta el momento, de aspas planas de prisma triangular, que incorporaba una membrana textil que protegía de la lluvia. Esta cubierta se plegaba en un pequeño paquete fácilmente transportable. Como había sucedido hasta el momento el proyecto no se llega a construir.



Img. 102 Prototipo de la cubierta para el coso de la Maestranza, Sevilla⁽³⁾

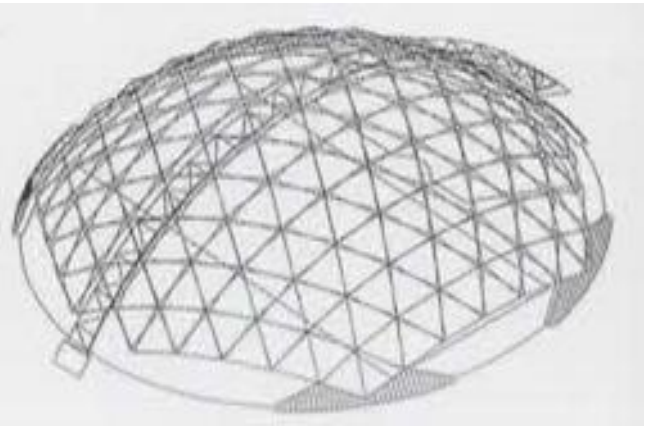
Hasta aquí, se habían centrado en el estudio de las mallas de aspas planas, pero comenzaron a desarrollar sistemas de mallas curvas, que conseguían con la excentricidad del punto de cruce, haciendo que las distancias de las barras fuesen diferentes. Con este método obtienen un sistema más complejo, que se puede curvar y que sigue manteniendo la capacidad de plegado. Por otro lado, dan lugar a estructuras que han de ser analizadas y calculadas para que sigan manteniendo las propiedades de estabilidad y compatibilidad simultáneamente.

Otro punto de estudio fueron las mallas esféricas o de doble curvatura, en el que se obtenía la división de la esfera mediante un sistema denominado de “proyección”. Esto consistía en proyectar sobre la superficie esférica una malla contenida en el plano ecuatorial, desde un polo escogido cuidadosamente para que las barras tuviesen una longitud similar.

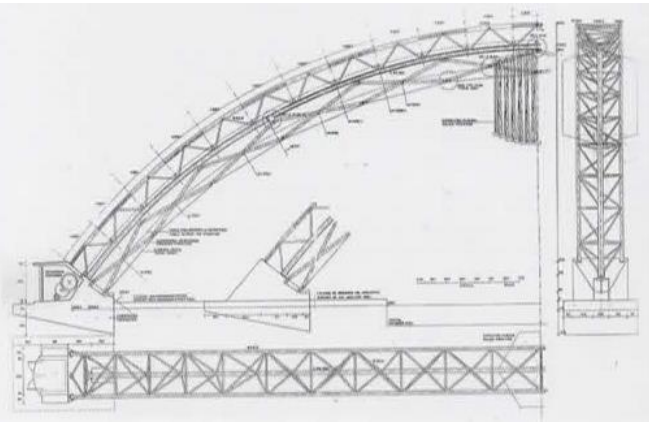
Cabe mencionar, que el tipo de malla con el que han estado trabajando hasta este punto, son mallas planas, cilíndricas o esféricas triangulares. Posteriormente en un intento de simplificación de los nudos, ya que con las mallas triangulares se obtienen nudos de seis barras, desarrollarán mallas cilíndricas y esféricas cuadrangulares, de las que hablaremos más adelante.

Aplicando el nuevo tipo de malla de doble curvatura, se disponen a diseñar la cubierta para una piscina olímpica en Mairena del Aljarafe, Sevilla (Img. 103 y 104). Utilizan el método proyectivo para dividir la semiesfera, y ensayan con una maqueta, a una escala menor, el funcionamiento de esta. Descubren que se producen incompatibilidades en las fases intermedias, que hacen que algunas barras se doblen. Este problema inicial se acaba convirtiendo en una ventaja que hace que una vez desplegada la estructura sea mucho más estable. La cubierta que cubría un vano de 60 metros se despliega sobre un arco de celosía instalado sobre la piscina. El peso propio de la estructura ayuda al despliegue de la misma, imprimiendo la energía necesaria para superar las incompatibilidades de las fases intermedias. Nuevamente el proyecto no llega a ejecutarse.

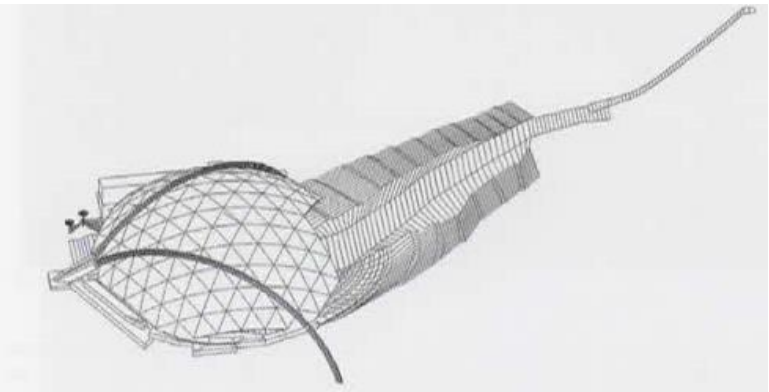
Más adelante presentan el mismo proyecto para cubrir una pista de saltos de esquí en Austria, pero a una escala mayor, ya que en esta ocasión el vano a cubrir era el doble, 120 metros (Img. 105). La propuesta tampoco fue aceptada.



Img. 103 Esquema de la cubierta de la piscina olímpica en Mairena del Aljarafe, Sevilla.⁽³⁾



Img. 104 Sección de la cubierta de la piscina olímpica en Mairena del Aljarafe, Sevilla.⁽³⁾



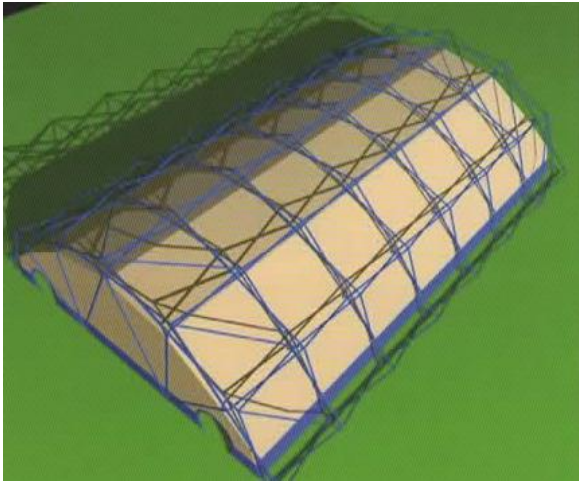
Img. 105 Esquema de la propuesta para la pista de saltos de esquí en Austria.⁽³⁾

Debido a la necesidad de desarrollar cubiertas más ligeras y flexibles, y de obtener nudos más simples, como ya comentamos anteriormente, Escrig y su equipo, comienzan a trabajar en el desarrollo de mallas cuadrangulares. Estas mallas tenían el inconveniente de que, al no estar trianguladas, no eran suficientemente estables, ya que sufrían una deformación angular, por lo que tenían que ser estabilizadas mediante barras diagonales. Por otro

lado tenían la ventaja de que no sufrían incompatibilidades en posiciones intermedias. Al tener que incluir barras adicionales de estabilización seguían obteniendo nudos de seis barras.

En la aplicación para diseños de mallas cilíndricas, se comprobó que era suficiente estabilizar los módulos de cabeza, si se fijaban al suelo los laterales. Esto se aplicó en el proyecto no ejecutado de una piscina en Sevilla (Img. 105).

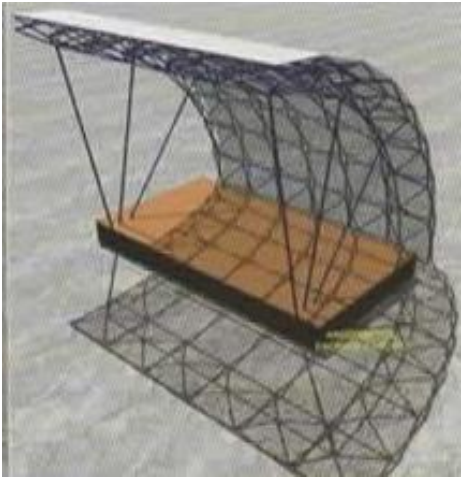
Buscando nuevas formas de rigidización, proponen un sistema de barras articuladas en forma de pirámide que rigidizan algunos de los módulos, y los mantienen cuadrados durante todo el despliegue. Con este sistema que denominan de “diagonalización progresiva”, diseñan un pabellón de exposiciones en Almería y un escenario móvil (Img. 106 y 107), proyectos que tampoco llegan a buen fin.



Img. 105 Cubierta con los módulos de cabeza rigidizados con barras.⁽³⁾



Img. 107 Módulo rigidizador piramidal.⁽³⁾



Img. 106 Escenario móvil con módulos rigidizadores piramidales.⁽³⁾



Img. 108 Arco desplegable de grandes dimensiones.⁽³⁾

La diagonalización progresiva la aplican a un arco transportable de 15 metros de vano (Img. 108), que será objeto de patente, con el nombre de “Arco desplegable de grandes dimensiones” nº 200500858.

En busca de la simplicidad, comienzan a trabajar con mallas trapezoidales, ya que son estables sin necesidad de barras diagonales. Obtienen la división de una esfera mediante meridianos y paralelos y trabajan con los módulos resultantes.

Utilizan este modelo de malla trapezoidal para estabilizar la anterior malla cilíndrica cuadrangular, de lo que resulta una estructura estable sin necesidad de incluir diagonales. La malla trapezoidal es utilizada en los casquetes de la malla cilíndrica (Img. 109). Este tipo de cubierta solo fue empleada para una pequeña piscina unifamiliar, aunque también había sido propuesta para cubrir la piscina del Club Náutico de Almería.



Img. 109 Prototipo de cubierta con casquetes trapezoidales.⁽³⁾

Uno de los problemas de las cubiertas anteriores, es que se generaban barras de diferentes dimensiones, y lo que Escrig y su equipo buscaban era una uniformidad en las longitudes de las barras, junto con una sencillez de los nudos.

Para ello buscan la solución en los poliedros regulares, principalmente en el rombicuboctaedro (Img. 110), ya que posee una par de caras triangulares que estabilizan angularmente el sistema. La prueba del correcto funcionamiento de este nuevo modelo, es el pabellón transportable que realizan por encargo (Img. 111 y 112). Las condiciones de tamaño y peso eran muy estrictas, teniendo que quedar la estructura completa en un paquete de 1,50 metros, con una dimensión desplegada de 4 metros.



Img. 110 Rombicuboctaedro.⁽³⁾



Img. 111 Pabellón transportable plegado.⁽³⁾

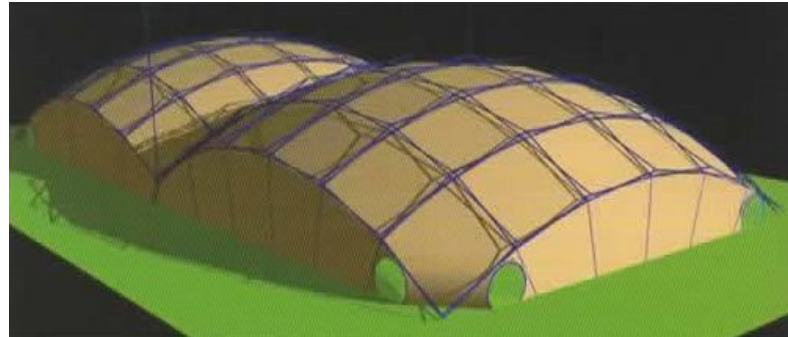


Img. 112 Pabellón transportable desplegado.⁽³⁾

El Ayuntamiento de Sevilla propone un concurso, para cubrir una piscina olímpica de 50x25 metros cuadrados, en el complejo deportivo de San Pablo. Escrig y Valcarcel presentan un proyecto de una malla desplegable de gran escala. Para este proyecto utilizan una malla de aspas cuadrangular, en arco en ambas direcciones, que genera una superficie esférica sin ningún tipo de incompatibilidades en fases intermedias, y que podían estabilizarse fácilmente con elementos únicamente de tracción. Aclarar que las mallas cilíndricas utilizadas anteriormente utilizaban aspas en arco en una dirección y aspas rectas en la otra.

Proponen una cubierta que consiste en dos módulos cuadrados, de 30x30 m² que cubren un espacio total de 60x30 m² (Img. 113 y 114). El textil iba colgado por la parte interior de la estructura lo que la protegía de los

vapores corrosivos del cloro, y mediante unos tensores, consiguieron que se quedase recogido en el paquete de barras en el momento del plegado. Los módulos cuadrados fueron elevados ligeramente en la parte de conexión entre ellos, para que coincidiesen exactamente, lo que supuso también una ventaja, ya que aportaba una altura extra en la parte central de la piscina. El proyecto fue llevado a cabo, y los módulos fueron izados con una grúa y desplegados gracias a su peso propio.



Img. 113 Esquema de la cubierta para la piscina del complejo deportivo de San Pablo, Sevilla. ⁽³⁾



Img. 114 Vista nocturna de la cubierta para la piscina del complejo deportivo de San Pablo, Sevilla. ⁽³⁾

El mismo tipo de solución de cubierta también la propusieron para las piscinas del Hotel Finisterre en A Coruña, pero no llegaron a ejecutarla.

Escrig, no solo se ha centrado en el trabajo con mallas desplegables, sino que también ha realizado otro tipo de estructuras desplegables.

La cubierta que realizaron para la plaza de toros de Jaén, España, era una cubierta desplegable que utilizaba un sistema similar al empleado por Schlaich Bergerman and Partner, en la plaza de toros de Zaragoza. En este caso, la mayor diferencia era que el textil central se plegaba hacia el exterior, de manera que el centro quedaba completamente libre (Img. 115 y 116). Poseía un anillo exterior fijo y la parte central era móvil. Esta cubierta, sufrió grandes daños en un temporal posterior, sin posibilidad de ser reparada.

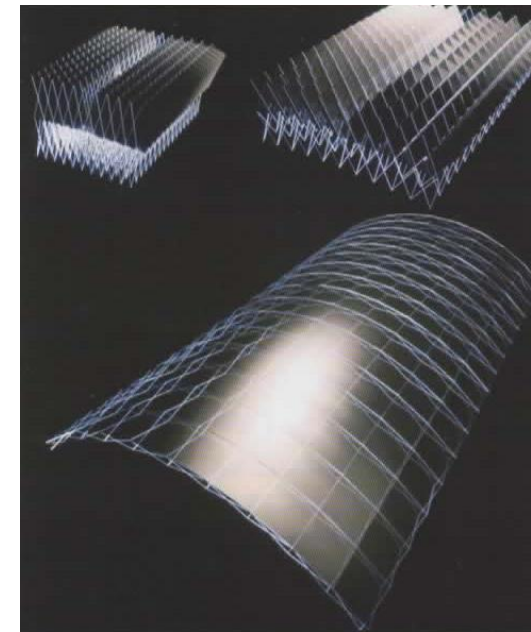


Img.115 Vista exterior de la cubierta retráctil de la plaza de toros de Jaén. ⁽³⁾



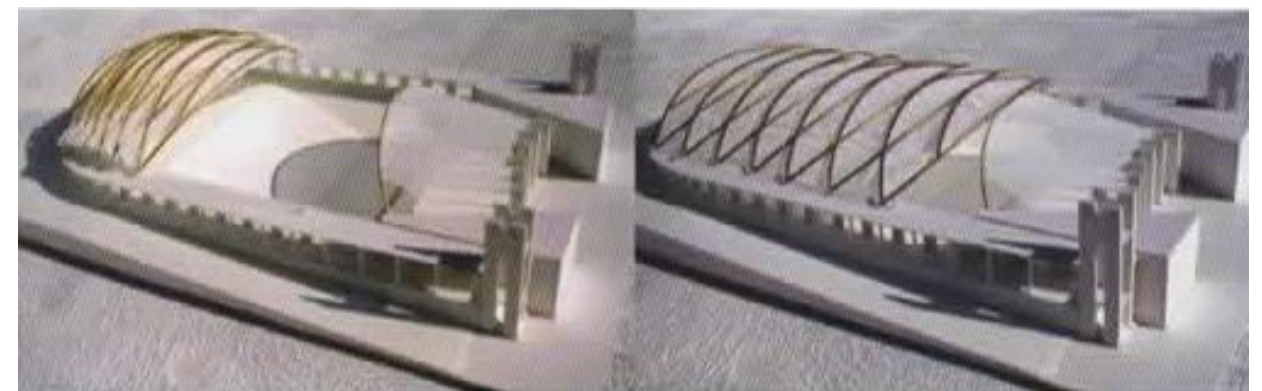
Img. 116 Vista interior de la cubierta. ⁽³⁾

Es destacable también el trabajo con mallas de aspas que incluían placas rígidas, similar al trabajo de Piñero con su vidriera hipercúbica. Aplican el sistema a diferentes tipos de malla, tanto cuadrangulares, para obtener cubiertas cilíndricas con placas rígidas cuadradas, como triangulares con paneles rígidos triangulares, dando como resultado cubiertas de doble curvatura. Este sistema no llegaron a aplicarlo en la realidad, siendo solo simulado en programas informáticos. La dirección de estos proyectos recayó en Juan Pérez Valcarcel, que creó un amplio grupo de trabajo. (Img. 117).



Img. 117 Diseño de malla cuadrangular de aspas con placas rígidas. ⁽³⁾

Además de los trabajos realizados con mallas desplegables han desarrollado proyectos con otro tipo de sistemas desplegables, como son las cubiertas con arcos, que mantienen un ancho constante y al desplegarse generan una bóveda. Un ejemplo de la aplicación de este sistema es la cubierta para el Auditorio al aire libre de La Alameda en Jaén (Img. 118 y 119) sobre una edificación ya construida. Debían de cubrir un ancho de 42 m y un largo de 100 m, lo que suponía un reto importante, debido a la novedad del sistema. El sistema se basa en pares de arcos que se cruzan y se mueven uno con respecto al otro a modo de tijera, incluye un cerramiento textil flexible. Cabe destacar que este tipo de sistema varía su altura entre las posiciones plegada y desplegada. En este caso la cubierta se dividía en tres partes, un tornavoz y un fondo semicircular fijos, y una bóveda móvil sobre el resto del recinto.



Img. 118 Maqueta de la cubierta para el Auditorio al aire libre de La Alameda, Jaén. ⁽³⁾



Img. 119 Vista interior de la cubierta del Auditorio al aire libre de La Alameda, Jaén. ⁽³⁾



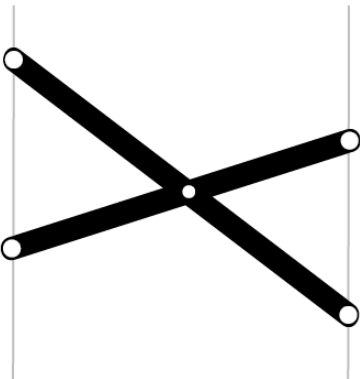
Img. 120 Vista interior de la piscina semiolímpica de Valencia, Sevilla. ⁽³⁾

Posteriormente utilizan el mismo sistema de arcos para construir la cubierta de una piscina semiolímpica en Valencia, Sevilla (Img. 120). Las dimensiones a cubrir son menores que en el caso del auditorio, siendo de 30x16 m².

Pese a la poca aceptación que tuvieron entre los promotores de las obras las propuestas de Escrig, Valcarcel y Sánchez, su trabajo ha supuesto un gran salto en la investigación y desarrollo de las estructuras de mallas desplegables, lo cual se ha visto reconocido con diversos premios.

OTRAS APORTACIONES

Otros autores han seguido los pasos de Escrig, Valcarcel y Sánchez, desarrollando proyectos en los que utilizaban mallas de aspas planas. Luis Sánchez Cuenca es uno de estos autores, que aporta nuevos conceptos de plegado y de curvatura de las mallas. La nueva forma de curvatura que introduce, se basa en inscribir las aspas planas en un romboide con cierta distorsión angular (Img. 121), de esta manera consigue adaptar la malla a múltiples formas. El inconveniente que tiene es que se generan muchas barras de diferentes tamaños. Un ejemplo de las mallas de Sánchez Cuenca es la marquesina que diseñó en 2007 que se apoya sobre cuatro soportes (Img. 122).



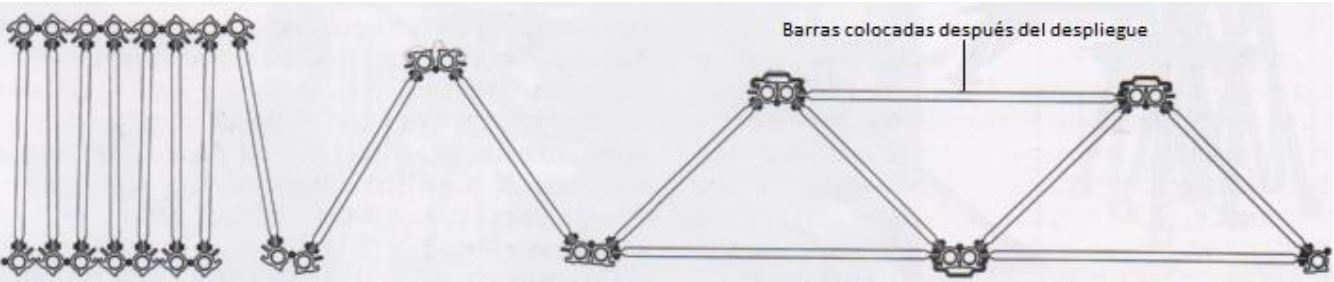
Img. 121 Nuevo modelo de aspa propuesta por Luís Sánchez Cuenca.



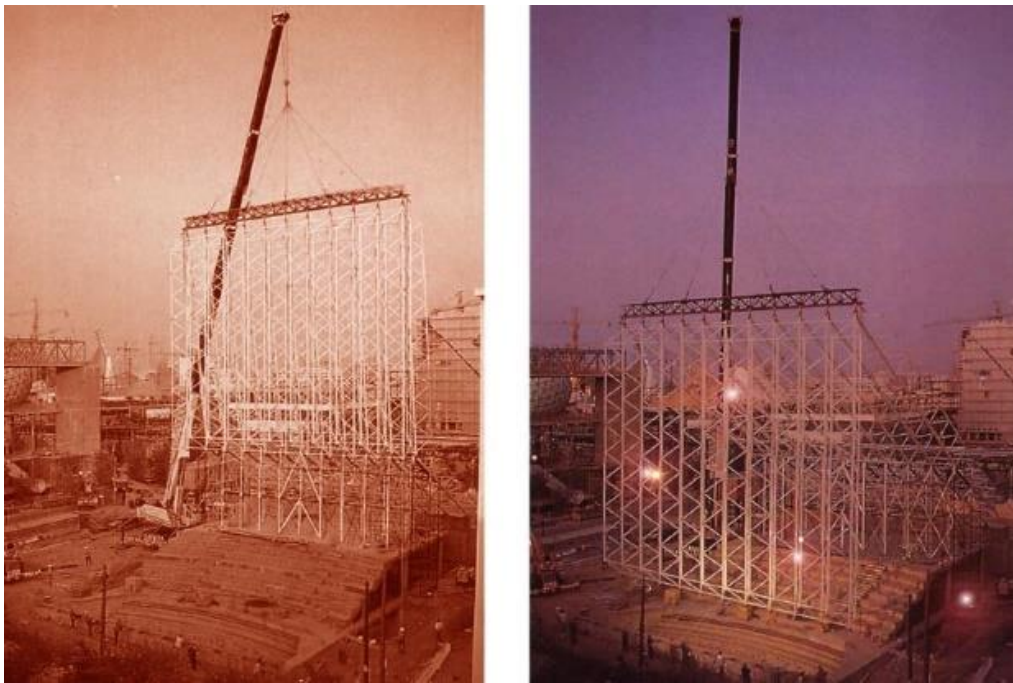
Img. 122 Marquesina diseñada por Luís Sánchez Cuenca.2007⁽³⁾

Carlos Henrique Hernández es un diseñador venezolano que continúa el legado de Escrig y Valcarcel. Una de sus obras más representativa es el pabellón de Venezuela de la Expo 92 de Sevilla (Img. 124, 125 y 126), a raíz de la cual colabora en ciertas ocasiones con Escrig.

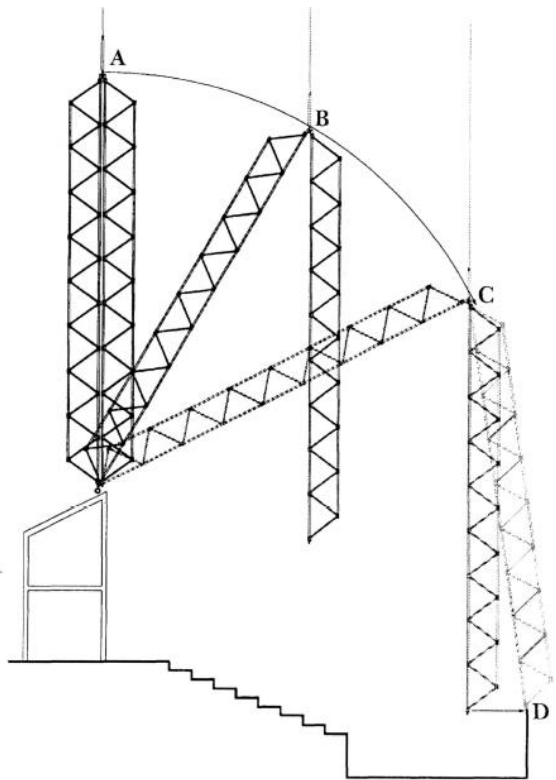
El pabellón de Venezuela se trata de un sistema de estructura metálica desplegable en acordeón, que se abría en dos fases con la ayuda de una grúa. Constaba de dos juegos de bisagras, en el que primero se desplegaba uno, posteriormente el perpendicular a él, y una vez desplegadas se incluían unas barras que estabilizaban el sistema (Img.123). Aparte del edificio principal, el pabellón contaba con una serie de mástiles de 16 metros de altura, con banderolas de colores que proporcionaban sombra a la plaza (Img. 127).



Img. 123 Esquema de despliegue y estabilización de los módulos del pabellón de Venezuela, Expo 92, Sevilla. ⁽¹⁵⁾



Img. 124 y 125 Fases de montaje del pabellón de Venezuela, Expo 92, Sevilla. ⁽¹⁵⁾



Img. 126 Modo de posicionado de la estructura principal. ⁽¹⁵⁾



Img. 127 Vista exterior del pabellón de Venezuela, Expo 92, Sevilla.

Alluproyecto una empresa italiana. La obra se trata de una cubierta de malla cilíndrica cuadrangular desplegable de gran sencillez, con el textil situado por el exterior (Img. 128).



Img. 128 Cubierta cilíndrica de Masao Saito, EXPO 2005 Bio Structure⁽³⁾

También en oriente ha tenido colaboradores Félix Escrig, como es el caso de Masao Saito, ingeniero y profesor de la universidad de Nihon. Junto a él reciben el primer premio a la mejor estructura en aluminio, concedido por

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- ⁽¹⁾CHILTON, JOHN, 2000. *Space grid structures*. Oxford: Architectural Press. ISBN: 0-7506-3275-5.
- ⁽²⁾CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA EN LA ARQUITECTURA, 1994. *1^{er} Congreso nacional de tecnología en la arquitectura cuaderno de comunicaciones*. Raya Blas, Antonio. Quintáns Eiras, Carlos. Rodríguez Cheda, José Benito. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid.
- ⁽³⁾ESCRIG, FÉLIX, 2012. *Modular, ligero, transformable. Un paseo por la arquitectura ligera móvil*. Sevilla: Universidad de Sevilla. ISBN: 978-84-472-1427-3.
- ⁽⁴⁾ESCRIG, FÉLIX, 1993. *Arquitectura Transformable*. Candela, Félix. Calatrava, Santiago. Pérez Valvarcel, Juan. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla. ISBN: 84-600-8583-X.
- ⁽⁵⁾HERZOG, THOMAS, 1977. *Construcciones neumáticas. Manual de arquitectura hinchable*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A. ISBN: 84-252-0684-7.
- ⁽⁶⁾NERDINGER, WINFRIED, 2005. *Frei Otto. Complete Works. Lightweight construction. Natural design*. Basel: Birkhäuser- Publishers for Architecture. ISBN: 978-3-7643-7231-6.

ARTÍCULOS

- ⁽⁷⁾CALVO LÓPEZ, JOSÉ; SANZ ALARCÓN, JUAN PEDRO. *Arquitectura plegable para una década prodigiosa. La obra de Emilio Pérez Piñero y la arquitectura de los años sesenta*. EGA: Revista de expresión gráfica arquitectónica. Num. 17. 2011. pp. 114-127.
- ⁽⁸⁾ESCRIG, FÉLIX. *Estructuras espaciales de barras desplegables*. Informes de la construcción. Madrid. IET. Vol. 36. Num. 365. 1984. pp. 35-46.
- ⁽⁹⁾ESCRIG, FÉLIX; PÉREZ VALCARCEL, JUAN. *Estructuras espaciales desplegables curvas*. Informes de la construcción. Madrid. Vol. 39. Num. 393. 1988. pp. 53-71.
- ⁽¹⁰⁾ESCRIG, FÉLIX; PÉREZ VALCARCEL, JUAN. *Introducción a la geometría de las estructuras espaciales desplegables de barras*. Boletín académico de la ETSA de La Coruña. Num. 3. 1986. pp. 48-57.
- ⁽¹¹⁾ESCRIG, FÉLIX; PÉREZ VALCARCEL, JUAN. *Cubiertas rígidas transformables*. Hormigón y Acero. Num. 193. 1994. pp. 85-104.
- ⁽¹²⁾ESCRIG, FÉLIX; PÉREZ VALCARCEL, JUAN; SÁNCHEZ SÁNCHEZ, JOSÉ. *Las cubiertas desplegables de malla cuadrangular*. Boletín académico. Num. 20. 1996. pp. 36-46.
- ⁽¹³⁾FRANCO MEDINA, RICARDO; INSUASTY DELGADO, PABLO. *Estructuras adaptables a partir de procesos mecánicos y cibernéticos*. Revista de Arquitectura. Vol. 11. 2009. Universidad de Bogotá. Pp. 108-121.

⁽¹⁴⁾HENRIQUE HERNANDEZ, CARLOS. *Factibilidad constructiva de cubiertas plegables de láminas delgadas*. Tecnología y Construcción. Vol. 19-II. 2003. pp- 23-41.

⁽¹⁵⁾HERNANDEZ, CARLOS; ESCRIG, FÉLIX. *El pabellón de Venezuela de la EXPO'92. Una estructura desplegable en duraluminio*. Informes de la construcción. Vol. 45 Num. 429. 1994. pp. 61-69.

⁽¹⁶⁾PÉREZ PIÑERO, EMILIO. *La obra de Emilio Pérez Piñero*. Rev. Arquitectura. Num. 163-164. 1972. pp. 1-28.

⁽¹⁷⁾PÉREZ VALCARCEL, JUAN; ESCRIG, FÉLIX. *Estructuras espaciales: Entre la imaginación y la crisis*. Boletín Académico. Num. 17. 1993. pp. 35-45.

⁽¹⁸⁾PUERTAS DEL RÍO, LINA. *Estructuras espaciales desmontables y desplegables*. Informes de la construcción. Vol. 42. Num. 409. 1990. pp. 43-53.

⁽¹⁹⁾PUERTAS DEL RÍO, LINA. *Las estructuras de Emilio Pérez Piñero*. I Encuentro Internacional sobre Estructuras Ligeras para Grandes Luces, Sevilla. 1992. pp.29-48.

⁽²⁰⁾SANCHEZ-CUENCA, LUÍS. *Cúpula extensible*. RE: Revista de edificación. Num. 23. 1996. pp 43-47.

TESIS DOCTORALES

- ⁽²¹⁾MASUBUCHI, MOTOI. *Conceptual and structural design of adaptative membrane structures with spoked wheel principle- folding to the perimeter*. Dr. Ing. Klaus Rückert. Technischen universität Berlín, 2013.
- ⁽²²⁾PÉREZ ALMAGRO, MARÍA DEL CARMEN. *Estudio y normalización de la colección museográfica y del archivo de la fundación Emilio Pérez Piñero*. (Tesis doctoral). Dr. Jorge Juan Eiroa García; Dra. Concepción de la Peña Velasco, directores. Universidad de Murcia, 2013.
- ⁽²³⁾RODRÍGUEZ, NELSON. *Diseño de estructura transformable por deformación de una malla plana en su aplicación a un refugio de rápido montaje*. (Tesis doctoral). Dr. José Ignacio Llorens; Dr. Ramón Sastre Sastre, directores. Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, 2005.
- ⁽²⁴⁾SANCHEZ SIERRA, JAVIER. *Generación, manipulación y visualización de estructuras tensadas en tiempo real*. (Tesis doctoral). Dr. Miguel Ángel Serna; Dra. Paz Morer Camo, directores. Universidad de Navarra, Escuela Superior de Ingenieros, 2006.

SITIOS WEB

- ⁽²⁵⁾Fundación Emilio Pérez Piñero (en línea). Murcia, (consulta: 8 julio 2014). Disponible en: <http://www.perezpinero.org/>
- ⁽²⁶⁾HOBERMAN: Transformable design (en línea). New York: Hoberman Associates, 2014 (Consulta: 22 enero 2015). Disponible en: <http://www.hoberman.com/>
- ⁽²⁷⁾BACHERL, MICHAEL. Leicht Bauen (en línea). Munich, (consulta: 13 abril 2015). Disponible en: <http://www.freiotto-architekturmuseum.de/index2.html>

⁽²⁸⁾ESCRIG, FÉLIZ; SÁNCHEZ, JOSÉ. Performance: ideas y aplicaciones (en línea). Sevilla, 2010 (Consulta: 16 abril 2015). Disponible en: <http://performance-starbooks.es/>

⁽²⁹⁾SCHLAIN BERGERMANN AND PARTNER. (en línea). Stuttgart, 2015 (Consulta: 30 abril 2015). Disponible en: <http://www.sbp.de/en#news/index>

⁽³⁰⁾PRADA POOLE. (en línea), 2014 (Consulta: 24 enero 2015). Disponible en: <http://pradapool.tumblr.com/>

⁽³¹⁾SEIP, STEFAN (en línea), 2015 (Consulta: 15 diciembre 2014). Disponible en: <http://www.astromeeing.de/>

⁽³²⁾HISTORIA DEL ARTE MODERNO. (en línea), 2010 (Consulta: 15 diciembre 2014). Disponible en: <http://clasehistoriadelartemoderno.blogspot.com.es/2010/10/arte-egipcio.html>

⁽³³⁾ROSALES, SANDRA. Arquitectura en el entretenimiento romano. Slideshare (en línea), 2010 (Consulta: 15 diciembre 2014). Disponible en: <http://es.slideshare.net/SandraRosales/roma-3792084>

⁽³⁴⁾ARTE HISTORIA, Fin del imperio romano (en línea), (Consulta: 15 diciembre 2014). Disponible en: <http://www.artehistoria.com/v2/contextos/758.htm>

⁽³⁵⁾TIPIWAKAN, naturalmente nómadas (en línea),2014 (Consulta: 16 diciembre 2014). Disponible en: <http://www.tipis.es/historia-de-la-yurta/>

⁽³⁶⁾BIBLIOTECA NACIONAL, Códices de Madrid, Leonardo Da Vinci, (en línea), 2011 (consulta: 16 diciembre 2014). Disponible en: <http://leonardo.bne.es/index.html>

⁽³⁷⁾WIKIPEDIA, Richard Buckminster Fuller, (en línea), 2015 (Consulta: 18 diciembre 2014). Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Richard_Buckminster_Fuller

⁽³⁸⁾SOCALARCHHISTORY, Living Lightly on the Land: Bernard Judge's "Triponent" and "Tree" Houses, (en línea), 2011 (Consulta:20 diciembre 2014). Disponible en: http://socalarchhistory.blogspot.com.es/2011_07_01_archive.html

⁽³⁹⁾STAIN, KAREN, The Plain Beauty of Well-Made Things, (en línea), 2009 (Consulta: 20 diciembre 2014). Disponible en: <http://designobserver.com/feature/the-plain-beauty-of-well-made-things/10987/>

⁽⁴⁰⁾RED STICK MODERN, Big Interest In Baton Rouge's Busted Bucky Ball, (en línea), 2008 (Consulta: 20 diciembre 2014). Disponible en: <https://redstickmodern.wordpress.com/category/commercial/>

⁽⁴¹⁾MC2, Estudio de Arquitectura, Palau Sant Jordi, (en línea), (Consulta: 23 diciembre 2014). Disponible en: http://www.mc2.es/ficha_proyecto.php?id=74&idcategoria=6&i=es&nav=02

⁽⁴²⁾PLATAFORMA ARQUITECTURA, Utopias reloaded, (en línea), 2015, (Consulta: 9 enero 2015). Disponible en: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-15780/utopias-reloaded>

⁽⁴³⁾KUROKAWA, KISHO, (en línea), 2015, (Consulta: 10 enero 2015). Disponible en: <https://es.pinterest.com/arpuertasv/kisho-kurokawa/>

⁽⁴⁴⁾PLATAFORMA ARQUITECTURA, Premio Pritzker , (en línea), 2015, (Consulta: 29 abril 2015). Disponible en: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/premio-pritzker>

⁽⁴⁵⁾MR. HONNER, Math appreciation, Expanding Sphere, 2013,(Consulta: 15 abril 2015). Disponible en: <http://mrhonner.com/archives/6843>

⁽⁴⁶⁾PUEBLOS DE ESPAÑA, Vista aérea de Zaragoza,(Consulta: 28 abril 2015). Disponible en: <http://www.pueblos-espana.org/aragon/zaragoza/zaragoza/19372/>

⁽⁴⁷⁾QUE, Fotos de futbol,2013, (Consulta: 30 abril 2015). Disponible en: <http://www.que.es/deportes/futbol/fotos/vista-general-construccion-nuevo-estadio-f254585.html>

PARTE II. PROPUESTA PROPIA
DISEÑO DE SISTEMA DE CUBIERTA MÓVIL PARA PISCINAS

MEMÓRIA DESCRIPTIVA

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema estructural que se presenta, consiste en una cubierta desplegable ligera para cubrir recintos tales como piscinas, pistas deportivas, invernaderos o cualquier otro que precise ser cubierto y descubierto.

El sistema estructural está formado por un arco de celosía fijo, anclado a cimentación y un conjunto de arcos móviles, siendo el del extremo en celosía. El conjunto de arcos están dispuestos en planos verticales y arrancan sobre elementos de rodadura. Dichos arcos están conectados entre sí mediante bielas o barras biarticuladas, combinando bielas de articulaciones fijas con bielas de articulaciones deslizantes, lo que permite el plegado y desplegado. El sistema incluye tres tipos de bielas: bielas con ambas articulaciones fijas, bielas con una articulación fija y otra deslizante y bielas con ambas articulaciones deslizantes.

Los arcos y las bielas de una articulación fija y otra deslizante y las de ambas deslizantes son de acero S275 de sección tubular, siendo predimensionadas sus secciones mediante la introducción de cargas en el programa METAL 3D, aspecto que se detalla posteriormente en la memoria de cálculo. A partir de los cálculos realizados obtenemos unas secciones de Ø200 mm y un espesor de 15 mm para los arcos móviles, una sección rectangular de 300x100 mm con un espesor de 10 mm, para el arco final de la celosía fija anclada a cimentación, y para las bielas de una articulación fija y otra deslizante y ambas articulaciones deslizantes, una sección de Ø100 mm con un espesor de 10 mm.

Las bielas con ambas articulaciones fijas están formadas por chapas rectangulares de acero S275.

El modo de trabajo de los arcos, fundamentalmente a compresión, y el de las bielas, a tracción o compresión, evita la aparición de flexiones significativas en la estructura lo que implica una mayor esbeltez y ligereza de las barras que forman el sistema, aspecto fundamental en una estructura móvil.

Los textiles utilizados para la fabricación de cubiertas tensadas generalmente se constituyen por una serie de fibras entrecruzadas en las dos direcciones principales, que aportan características mecánicas al textil, y se recubren con resinas que protegen dichas fibras. El elemento de cerramiento está compuesto por fibra de PTFE (Politetrafluoroetileno o Teflón) recubierto con PTFE, que es completamente resistente a los rayos UV y a la acción de los ácidos. Es un material muy flexible lo cual lo hace ideal para el empleo en este sistema plegable. Además, puede tener hasta un 40% de transparencia.

El cerramiento puede permanecer conectado a la estructura en todo momento, plegándose cuando la estructura se pliega y desplegándose cuando la estructura se despliega, quedando totalmente tenso mediante la acción automática de cables o relingas conectados a los elementos de rodadura en la base de los arcos. Además, el elemento de cerramiento se puede conectar a la estructura de manera que permita ser desmontado de forma rápida y sencilla, en caso de ser preciso por labores de mantenimiento o reparación.

El plegado y desplegado se realiza de forma motorizada. La estructura se conecta a dos cables de acero que trabajan a tracción, a través, de las deslizaderas o elementos de rodadura del primer arco móvil en celosía, y mediante un motor externo con doble sentido de giro, se realiza el movimiento de la estructura. También podría realizarse el plegado y desplegado de la estructura de forma manual, con la ayuda de dos operarios.

Las deslizaderas o elementos de rodadura y las articulaciones deslizantes son de acero S275. Las primeras incluyen los elementos necesarios para ser fijadas al raíl y aportar estabilidad al resto del conjunto.

2. ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA

1. Arco en celosía fijo a cimentación.
2. Arco móvil.
3. Arco en celosía móvil.
4. Biela con ambas articulaciones fijas.
5. Biela con una articulación fija y otra deslizante.
6. Biela con ambas articulaciones deslizantes.
7. Deslizadera o elemento de rodadura de los arcos móviles.
8. Articulación fija de una biela.
9. Articulación deslizante a la que acometen dos bielas.
10. Articulación deslizante a la que acomete una biela.
11. Cable de tesado del cerramiento.
12. Tensor del cable de tesado.
13. Elemento de anclaje del cable de tesado del cerramiento.
14. Chapas de conexión del arco a la deslizadera.
15. Chapa para anclaje de bielas de articulaciones fijas.
16. Chapas de conexión de deslizadera a rótula.
17. Chapas de conexión de biela a rótula.
18. Chapas de conexión de articulación a rótula.
19. Rótula.
20. Elemento de fijación al raíl.
21. Elemento de rodadura inferior.
22. Elemento de rodadura lateral.
23. Elemento de rodadura superior frontal.
24. Elemento de rodadura superior posterior.
25. Elemento superior de rodadura por raíl del arco.
26. Elemento inferior de rodadura por raíl del arco.
27. Elemento de fijación del cable de tracción para desplegado y plegado del sistema.
28. Tope.
29. Textil.
30. Elementos de fijación de textil a arcos.
31. Cremallera de unión de textil a arco en celosía fijo a cimentación.

- 32. Elemento de neopreno para amortiguación.
- 33. Raíl.
- 34. Raíl del arco.
- 35. Cable de tracción para plegado y desplegado.
- 36. Piscina.
- 37. Puerta de acceso.
- 38. Cables de estabilización horizontal.
- 39. Eje.
- 40. Motor.
- 41. Cojinetes para evitar oscilaciones del eje.

3. DESCRIPCIÓN DEL DESPLIEGUE DE LA ESTRUCTURA

El despliegue del conjunto se produce aplicando una fuerza horizontal perpendicular al plano que contiene el arco móvil de celosía del extremo. Dicha fuerza puede aplicarse manual o de manera motorizada a través de dos cables de tracción conectados a las deslizaderas del arco.

Al desplazarse dicho arco, los tres tipos de bielas se despliegan, deslizándose las de una articulación fija y otra deslizante y ambas deslizantes por los raíles dispuestos en los arcos a tal efecto y arrastrando al siguiente arco en el proceso de despliegue.

Durante este proceso, los cables de tesado del cerramiento se traccionan, produciendo el tesado automático del cerramiento. También durante este proceso los cables de tesado del cerramiento traccionan automáticamente los cables de estabilización horizontal (incluidos como refuerzo en el textil).

Una vez desplegada la estructura se fijan mediante elementos estáticos las deslizaderas del arco extremo de celosía. Al ser los arcos extremos de celosía, con suficiente rigidez horizontal, y al estar conectados el resto de los arcos de la estructura a éstos mediante los cables de estabilización horizontal, los arcos adquieren la necesaria estabilidad horizontal.

El plegado del conjunto se produce de manera análoga, liberando las fijaciones de las deslizaderas del arco móvil de celosía extremo y aplicando una fuerza horizontal de sentido contrario a la del despliegue a dicho arco, quedando finalmente todos los arcos recogidos bajo el arco de celosía fijo.

2. MEMORIA DE CÁLCULO

MEMORIA DE CÁLCULO

1. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.

1.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

Esta memoria tiene como objeto la descripción y justificación de los diferentes elementos que componen el sistema estructural propuesto, como es la cubierta móvil para piscinas u otros recintos. Como ejemplo de ubicación y referencia para la toma de datos del entorno para el cálculo, situaremos el sistema constructivo como cubrición para la piscina semiolímpica del complejo lúdico-deportivo de La Solana, situada en la ciudad de A Coruña.

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA.

1.2.1. DIMENSIONES UTILIZADAS PARA EL CÁLCULO.

Luz máxima arcos móviles: 18,25 m

Luz máxima arcos fijos: 19,20 m

Largo máximo: 33,00 m

Separación entre arcos: 3,50 m

Altura máxima arcos móviles: 6,00 m

Altura máxima arcos fijos: 6,40 m

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR.

La definición de los materiales a utilizar en el sistema se indica a continuación:

Acero en perfiles y chapas:

Tipo de acero: S275JR

Límite elástico (mínimo garantizado).

Espesor ≤ 16mm: 275 N/ mm²

Espesor > 16mm: 265 N/ mm²

Espesor > 40mm y ≤ 63mm: 255 N/ mm²

Alargamiento mínimo en % (probetas de 80 mm)

Espesor ≤ 40mm: Longitudinal 22%

Transversal 20%

Espesor > 40mm y ≤ 63mm: Longitudinal 21%

Transversal 19%

Tensión de rotura a tracción:

Espesor ≤ 3mm: 430 N/ mm² / 580 N/ mm²

Espesor > 3mm y ≤ 100mm: 410 N/ mm² / 560 N/ mm²

Coeficiente parcial de seguridad: 1,05

Acero en tornillos, tuercas y arandelas:

Tipo de acero: Acero clase 5.6

Tensión de límite elástico: 300 N/ mm²

Tensión de rotura: 500 N/ mm²

Coeficiente parcial de seguridad: 1,25

3. ACCIONES ADOPTADAS EN EL CÁLCULO

Para la determinación de las acciones aplicables sobre la estructura se han tenido en cuenta la aplicación de las normativas DB SE-AE “Documento Básico Seguridad Estructural Acciones en la edificación” complementado con las normas UNE-EN 13782:2005, Estructura temporales. Carpas. Seguridad. Y UNE-EN 1991-1-4:2007, Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de viento.

Según el DB SE-AE, en sus apartado 2,3 y 4, se considera que pueden actuar sobre una estructura tres grupos de acciones: acciones permanentes, acciones variables y acciones accidentales.

3.1. ACCIONES PERMANENTES

3.1.1. PESO PROPIO

Según el apartado 2.1 del DB SE-AE, el peso propio a tener en cuenta es el de los elementos estructurales, los cerramientos y elementos separadores, la tabiquería, todo tipo de carpinterías, revestimientos (como pavimentos, guarnecidos, enlucidos, falsos techos), rellenos (como los de tierras) y equipo fijo.

El valor característico del peso propio, se determinará, en general, como su valor medio obtenido a partir de las dimensiones nominales y de los pesos específicos medios.

En nuestro caso el peso propio que tendremos en cuenta para el cálculo, es el peso propio de la estructura completa de acero y el peso propio del textil.

El peso propio de la estructura de acero se ha calculado con la introducción de los datos en el programa de cálculo METAL 3D.

El peso del textil, que en nuestro caso es de PTFE (Teflón), según el dato obtenido del documento de “Generación, manipulación y visualización de estructuras tensadas en tiempo real” tabla 2.3, es de 300 g/m². Por lo tanto:

Con un ancho aproximado de 22,69 m y un largo de 33 m, obtenemos una superficie de textil de 748,77 m².

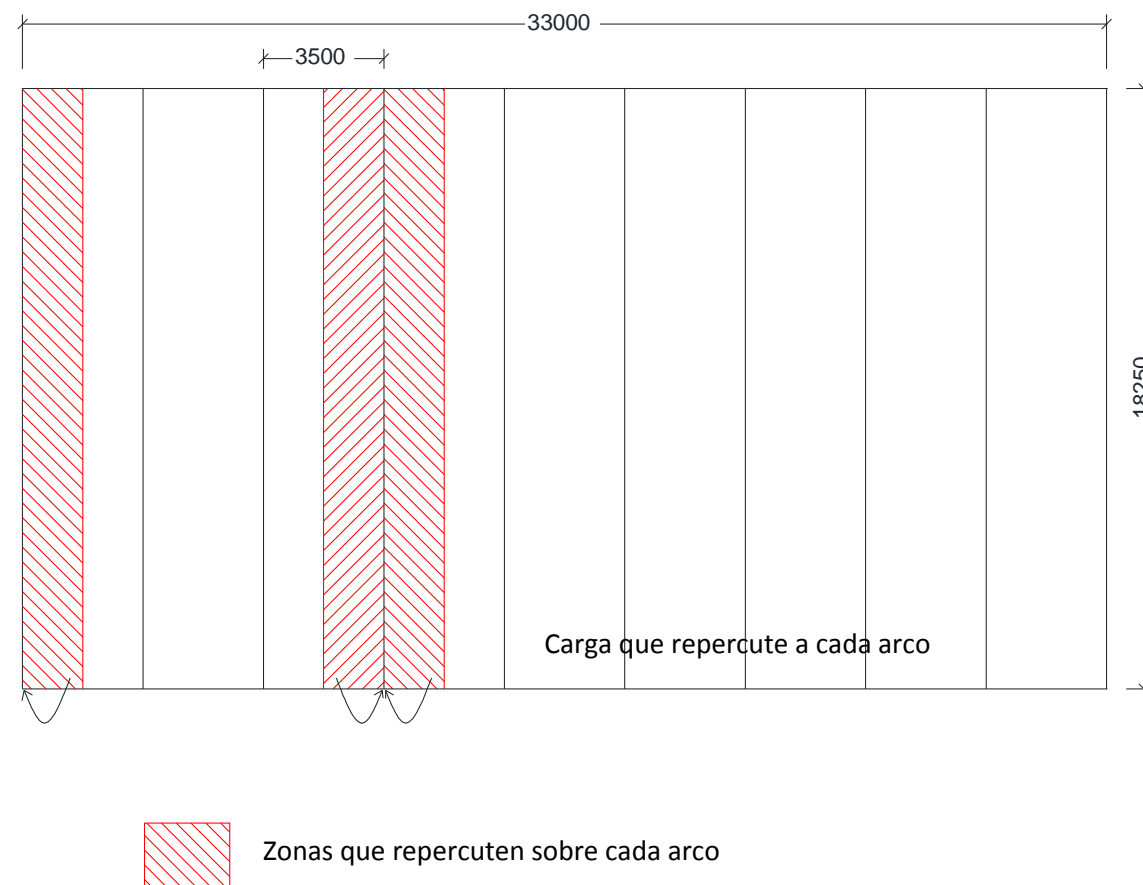
El peso del textil será de 748,77 m²*300 g/m², con un total de 224631 g o 224,631 Kg.

Ese peso se aplicará sobre la estructura portante de acero, por lo que deberemos repartirlo entre los arcos que lo soportan. En este caso se dividirá en nueve partes iguales, soportando los arcos externos, cada uno, la mitad de esa novena parte. En consecuencia:

$224631 \text{ g}/9 = 24959 \text{ g}$ que soporta cada arco interno y $24959 \text{ g}/2=12479,5 \text{ g}$ que soportan los externos.

Por lo que, si cada arco tiene una longitud de 22,69 m obtenemos un reparto de cargas de 1100 g/m en los arcos internos y 550 g/m en los externos, que pasados a KN/m serán, 0,011 KN/m y 0,0054 KN/m respectivamente.

Figura 1. Esquema de distribución de cargas del textil sobre los arcos



3.2. ACCIONES VARIABLES

3.2.1. SOBRECARGA DE USO

No tenemos en cuenta ninguna sobrecarga de uso para el cálculo de nuestra estructura, ya que se considera, que no hay ninguna carga significativa que pueda gravitar sobre el sistema por razones de uso. Por otro lado, resulta habitual en este tipo de estructuras cubiertas con material textil y provisionales la no consideración de sobrecarga de uso.

3.2.2. VIENTO

Según el DB SE-AE apartado 3.3.1, la distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, de la intensidad y del racheo del viento.

En el caso presentado y por las características de la estructura, se considera que la acción del viento es el factor más importante que determinará las condiciones dimensionales de los elementos que componen el sistema.

La acción del viento, en general es una fuerza perpendicular a la superficie o presión estática q_e y puede expresarse como (DB SE-AE 3.3.2):

$$q_e = q_b * C_e * C_p$$

Donde:

$q_e \rightarrow$ Presión estática.

$q_b \rightarrow$ Presión dinámica del viento - Anejo D.1

$C_e \rightarrow$ Coeficiente de exposición, en función de la altura del edificio y el grado de aspereza del entorno – Apartado 3.3.3

$C_p \rightarrow$ Coeficiente eólico o de presión, en función de la forma y orientación – Apartado 3.3.4 y 3.3.5

El valor de la presión dinámica, q_b , lo obtenemos de apartado D.1 del SE-AE donde en su punto cuatro indica, que el valor de la presión dinámica es, 0,42 KN/m², 0,45 KN/m² y 0,52 KN/m² para las zonas A, B y C del mapa de la Figura 2.

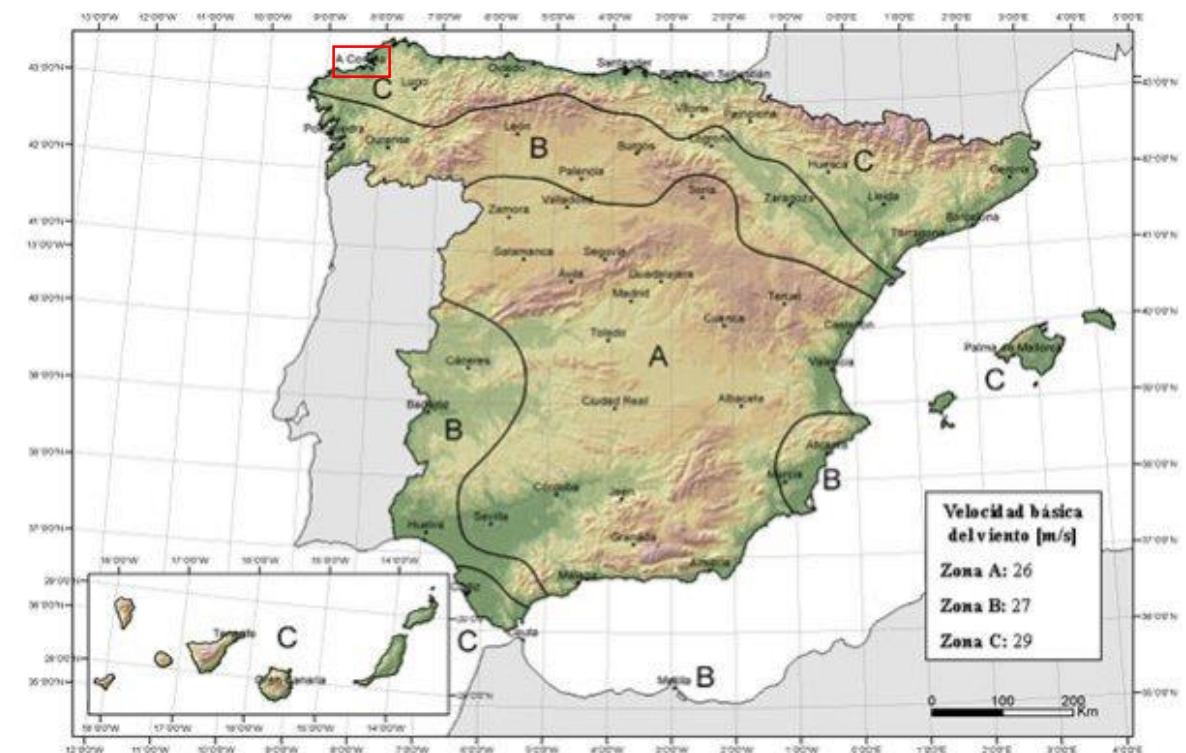


Figura 2. Valor básico de la velocidad del viento, v_b

Como se puede observar en la Figura 2, A Coruña está situada en la zona C, por lo que le corresponde un valor de presión dinámica de 0,52 KN/m².

Para la determinación del coeficiente de exposición, C_e, nos remitimos a la tabla 3.4 del SE-AE en el apartado 3.3.3, en nuestro caso la tabla 3.1, y entramos con los datos del grado de aspereza del entorno y la altura del punto considerado. En este caso consideramos un grado de aspereza del entorno I: borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud. Y una altura del punto considerado de 6 m. Accediendo con esos datos a la citada tabla obtenemos un valor de C_e de 2,7.

Tabla 3.1 Valores de coeficiente de exposición C_e

| Grado de aspereza del entorno | | Altura del punto considerado (m) | | | | | | | |
|-------------------------------|--|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 24 | 30 |
| I | Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,7 |
| II | Terreno rural sin obstáculos ni arbolado de importancia | 2,1 | 2,5 | 2,7 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 3,5 |
| III | Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas | 1,6 | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,9 | 3,1 |
| IV | Zona urbana en general, industrial o forestal | 1,3 | 1,4 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,2 | 2,4 | 2,6 |
| V | Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,9 | 2,0 |

Para el cálculo del coeficiente eólico o de presión, C_p, seguimos lo indicado en el Anejo D, apartado D.3 del DB SE-AE.

Como el coeficiente eólico depende de la forma de la estructura analizada, en nuestro caso escogemos la tabla D.12 Cubiertas cilíndricas, del citado Anejo, (tabla 3.2), por ser la que se adecúa a nuestro caso.

Para obtener los datos necesarios partimos de los valores de:

$g = 0$

$h = f = 5,60 \text{ m}$

$b = 33 \text{ m}$

$d = 18,25 \text{ m}$

$f/d = 5,60/18,25 = 0,31$

Con el valor de $f/d = 0,31$ entramos en la tabla 3.2 y obtenemos los valores de C_p, para A, B y C, que son las zonas en las que se divide la cubierta en función de la orientación del viento, en este caso viento lateral izquierdo, según se indica en la tabla.

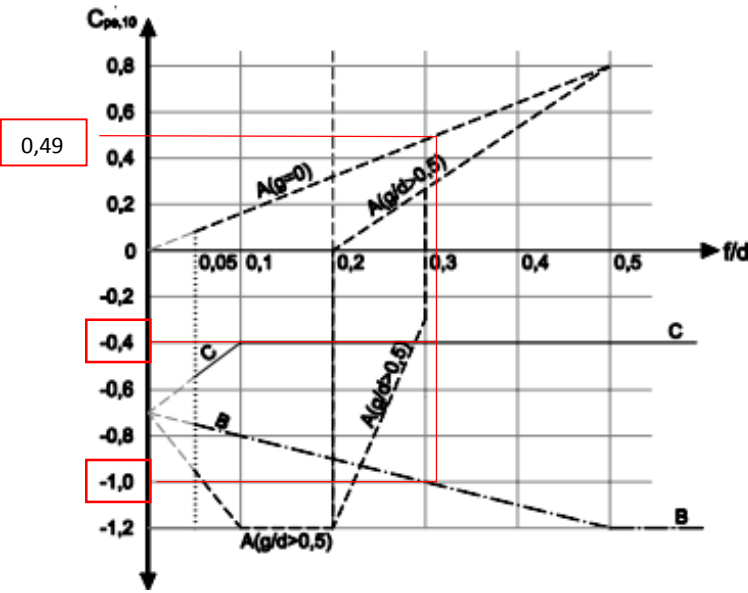
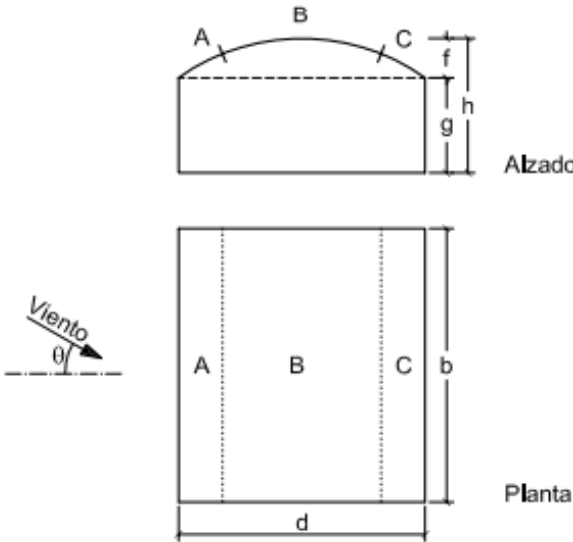
Los datos obtenidos de la tabla son:

Zona A. C_{pe} = 0,49

Zona B. C_{pe} = -1,0

Zona C. C_{pe} = -0,4

Tabla 3.2 Cubiertas cilíndricas



Con todos los datos obtenidos podemos calcular ya la presión estática, q_e, de cada zona de cubierta:

$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$

Zona A

$q_e = 0,52 \cdot 2,7 \cdot 0,49 = 0,69 \text{ KN/m}^2 \text{ (Presión)}$

Zona B

$q_e=0,52*2,7*(-1,0)= -1,40 \text{ KN/m}^2$ (Succión)

Zona C

$q_e=0,52*2,7*(-0,4)= -0,56 \text{ KN/m}^2$ (Succión)

Podemos calcular ya la repercusión que esa carga tendrá sobre la estructura portante. Teniendo en cuenta que el ancho a repercutir es de 3,5 m obtendremos:

Zona A

$0,69 \text{ KN/m}^2 * 3,5 \text{ m} = 2,4 \text{ KN/m}$

Zona B

$-1,40 \text{ KN/m}^2 * 3,5 \text{ m} = -4,9 \text{ KN/m}$

Zona C

$-0,56 \text{ KN/m}^2 * 3,5 \text{ m} = -1,96 \text{ KN/m}$

Ahora tenemos que realizar los cálculos de la presión estática, q_e , para los paramentos verticales que cierran la cubierta cilíndrica en los frontales. Para ello calculamos el coeficiente de presión exterior, C_{pe} , remitiéndonos a la tabla D.3 Paramentos verticales, del SE-AE Anejo D (tabla 3.3). En este caso haremos una asimilación de la forma de la cubierta quedando el alzado como se indica en la Figura 3.

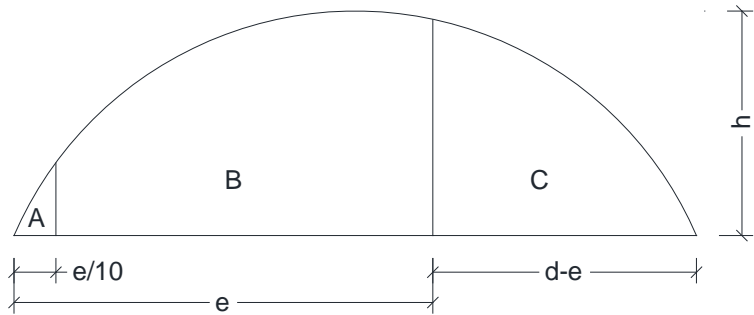
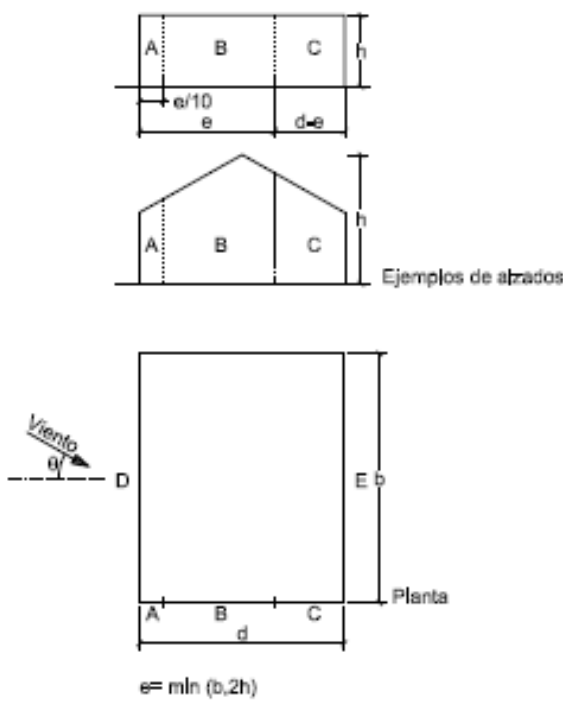


Figura 3. Asimilación de la forma de la cubierta

Tabla 3.3 Paramentos verticales



| A (m ²) | h/d | Zona (según figura), -45° < θ < 45° | | | | |
|------------------------|--------|-------------------------------------|------|------|-----|------|
| | | A | B | C | D | E |
| ≥ 10 | 5 | -1,2 | -0,8 | -0,5 | 0,8 | -0,7 |
| | 1 | " | " | " | " | -0,5 |
| | ≤ 0,25 | " | " | " | 0,7 | -0,3 |
| 5 | 5 | -1,3 | -0,9 | -0,5 | 0,9 | -0,7 |
| | 1 | " | " | " | " | -0,5 |
| | ≤ 0,25 | " | " | " | 0,8 | -0,3 |
| 2 | 5 | -1,3 | -1,0 | -0,5 | 0,9 | -0,7 |
| | 1 | " | " | " | " | -0,5 |
| | ≤ 0,25 | " | " | " | 0,7 | -0,3 |
| ≤ 1 | 5 | -1,4 | -1,1 | -0,5 | 1,0 | -0,7 |
| | 1 | " | " | " | " | -0,5 |
| | ≤ 0,25 | " | " | " | " | -0,3 |

Calculamos las dimensiones de cada zona para, posteriormente, poder hacer el reparto de cargas:

b= 33 m

d= 18,25 m

h= 5,60 m

h/d= 5,60/18,25 = 0,31

Según la tabla 3.3 $e = \min(b, 2h)$

$e = \min(33, (2 \cdot 5,60))$

$e = 11,20 \text{ m}$

$e/10 = 1,12 \text{ m}$

$d - e = 18,25 - 11,20 = 7,05 \text{ m}$

| | Superficie (m²) | Longitud del arco (m) |
|--------|-----------------|-----------------------|
| Zona A | 1,14 | 2,15 |
| Zona B | 47,79 | 11,28 |
| Zona C | 25,60 | 9,26 |
| Total | 74,53 | 22,69 |

Ahora entramos en la tabla 3.3, teniendo en cuenta que la variable A es el área de influencia del elemento considerado, que en este caso es $\geq 10 \text{ m}^2$ y que la relación h/d es 0,31. Los valores del coeficiente de presión exterior, C_{pe} , son los que siguen:

Zona A. $C_{pe} = -1,2$

Zona B. $C_{pe} = -0,8$

Zona C. $C_{pe} = -0,5$

Ya podemos obtener los valores de la presión estática, teniendo en cuenta que, los valores de la presión dinámica y el coeficiente de exposición se mantienen iguales que en el caso anterior:

Zona A

$q_e = 0,52 \cdot 2,7 \cdot (-1,2) = -1,68 \text{ KN/m}^2$ (Succión)

Zona B

$q_e = 0,52 \cdot 2,7 \cdot (-0,8) = -1,12 \text{ KN/m}^2$ (Succión)

Zona C

$q_e = 0,52 \cdot 2,7 \cdot (-0,5) = -0,70 \text{ KN/m}^2$ (Succión)

Estos datos son con relación a una situación de viento lateral izquierdo.

Calculamos lo que repercute sobre la estructura portante, utilizando los datos de superficies y longitudes anteriores:

Zona A

$-1,68 \text{ KN/m}^2 \cdot 1,14 \text{ m}^2 = -1,91 \text{ KN}$

$-1,91 \text{ KN} / 2,15 \text{ m} = -0,89 \text{ KN/m}$

Zona B

$-1,12 \text{ KN/m}^2 \cdot 47,79 \text{ m}^2 = -53,52 \text{ KN}$

$-53,52 \text{ KN} / 11,28 \text{ m} = -4,74 \text{ KN/m}$

Zona C

$-0,70 \text{ KN/m}^2 \cdot 25,60 \text{ m}^2 = -17,92 \text{ KN}$

$-17,92 \text{ KN} / 9,26 \text{ m} = -1,93 \text{ KN/m}$

Otra hipótesis a tener en cuenta en el cálculo, es que el viento actúe perpendicularmente a los paramentos verticales frontales de la cubierta. Para esa situación utilizaremos la misma tabla anterior (tabla 3.3), pero girando la estructura de forma que D y E se correspondan con estos paramentos (Figura 4).



Figura 4. Situación de viento frontal

De esta manera los datos de partida quedarán así:

$d = 33 \text{ m}$

$b = 18,25 \text{ m}$

$h = 5,60 \text{ m}$

$h/d = 5,60/33 = 0,17$

Entrando en la tabla 3.3 con $h/d = 0,17$ y un área de influencia $\geq 10 \text{ m}^2$, obtenemos:

Zona D. $C_{pe} = 0,7$

Zona E. $C_{pe} = -0,3$

Por lo tanto la presión estática quedará:

Zona D

$q_e=0,52*2,7*0,7= 0,98 \text{ KN/m}^2$ (Presión)

Zona E

$q_e=0,52*2,7*(-0,3)= -0,42 \text{ KN/m}^2$ (Succión)

Realizamos el cálculo de las repercusiones:

Zona D

$0,98 \text{ KN/m}^2 * 74,53 \text{ m}^2 = 73,04 \text{ KN}$

$73,04 \text{ KN}/22,69 \text{ m} = 3,22 \text{ KN/m}$

Zona E

$-0,42 \text{ KN/m}^2 * 74,53 \text{ m}^2 = -31,30 \text{ KN}$

$-31,30 \text{ KN}/22,69 \text{ m} = -1,38 \text{ KN/m}$

Con todos los datos obtenidos, podemos hacer un esquema de las cuatro hipótesis que queremos calcular, con las cargas que soportan los arcos, tanto la del viento como la del peso del textil. Son dos hipótesis de viento lateral, uno izquierdo y otro derecho, y dos hipótesis de viento perpendicular a los paramentos verticales, uno frontal y otro posterior (Figura 5).

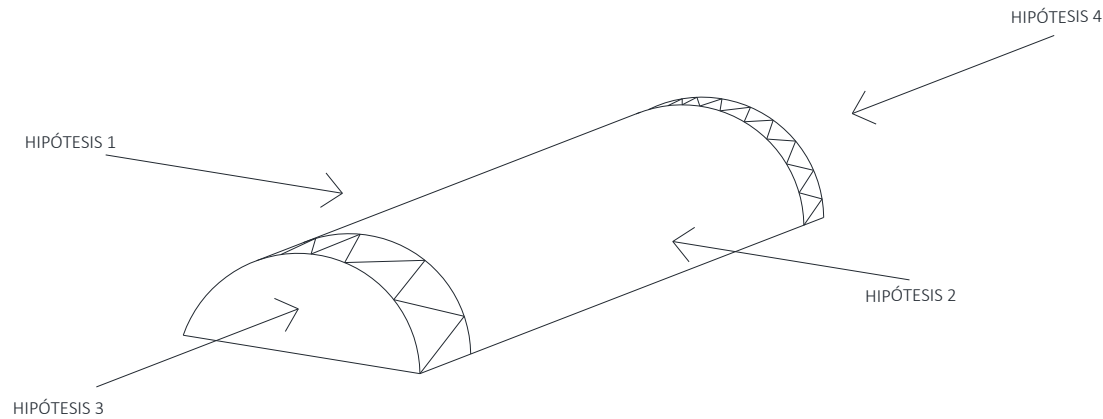


Figura 5. Esquema de las 4 hipótesis de viento

HIPÓTESIS 1.

Arcos internos

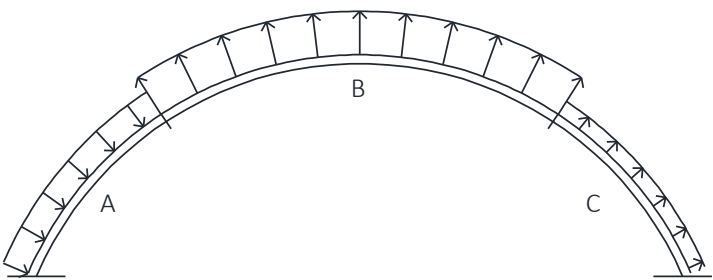


Figura 6. Esquema de carga de viento sobre arco interno

| | Carga de viento (KN/m) | Carga Peso Propio Textil(KN/m) |
|--------|------------------------|--------------------------------|
| Zona A | 2,40 (Presión) | 0,011 |
| Zona B | -4,90 (Succión) | 0,011 |
| Zona C | -1,96 (Succión) | 0,011 |

Arcos externos

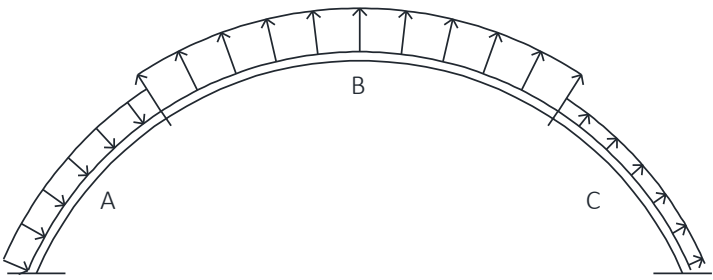


Figura 7. Esquema de carga de viento sobre arco externo

| | Carga de viento (KN/m) | Carga Peso Propio Textil(KN/m) |
|--------|------------------------|--------------------------------|
| Zona A | 1,20 (Presión) | 0,0054 |
| Zona B | -2,45 (Succión) | 0,0054 |
| Zona C | -0,98 (Succión) | 0,0054 |

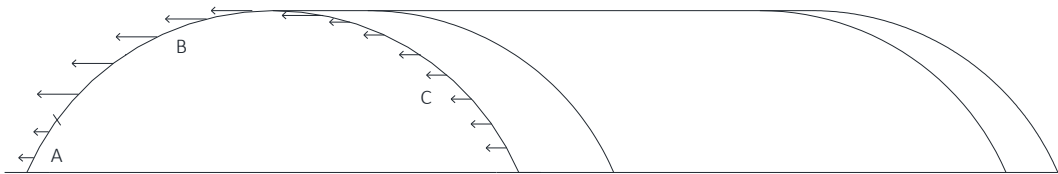


Figura 8. Esquema 2 de carga de viento sobre arco externo

| | Carga de viento (KN/m) |
|--------|------------------------|
| Zona A | -0,89 (Succión) |
| Zona B | -4,74 (Succión) |
| Zona C | -1,93 (Succión) |

LA HIPÓTESIS 2 ES SIMÉTRICA A LA HIPÓTESIS 1.

HIPÓTESIS 3.

Arcos externos

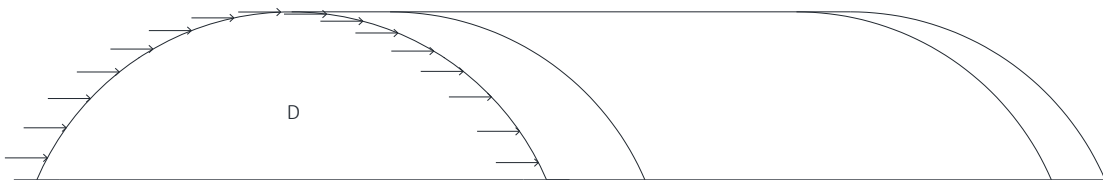


Figura 9. Esquema de carga de viento frontal sobre arco externo frontal

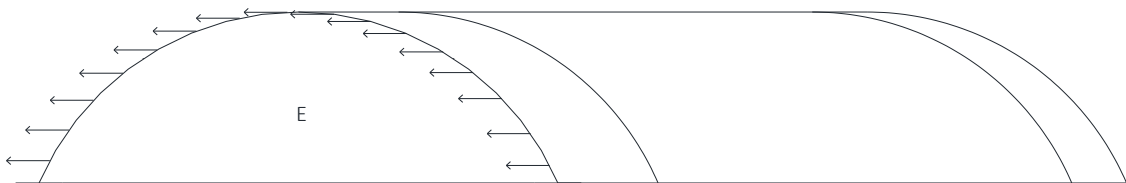


Figura 10. Esquema de carga de viento frontal sobre arco externo posterior

| | Carga de viento (KN/m) |
|--------|------------------------|
| Zona D | 3,22 (Presión) |
| Zona E | -1,38 (Succión) |

LA HIPÓTESIS 4 ES SIMÉTRICA A LA HIPÓTESIS 3.

Estas cargas, junto con el peso propio de la estructura portante, calculada por el programa, son las que se han introducido en el programa de cálculo METAL 3D, para realizar el predimensionado de la estructura, y comprobar si las deformaciones de la estructura son compatibles y aceptables en cada punto.

3.2.3. ACCIONES TÉRMICAS

Según indica el SE-AE en su apartado 3.4, en edificios con elementos estructurales de hormigón o acero, pueden no considerarse las acciones térmicas cuando se dispongan juntas de dilatación de forma que no existan elementos continuos de más de 40 m de longitud.

Como en el sistema propuesto no existen elementos continuos de más de 40 m de longitud, no vamos a tener en cuenta las acciones térmicas.

3.2.4. NIEVE

Según el SE-AE apartado 3.5, la distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores.

Si tenemos en cuenta la forma cilíndrica de la cubierta propuesta, la existencia de cables de valle que hacen que el textil evacúe hacia los laterales y que la estructura se puede replegar, combinado, con que está situada en A Coruña a nivel del mar, donde las probabilidades de precipitaciones en forma de nieve son escasas, podemos despreciar la acción de la carga de nieve.

3.3. ACCIONES ACCIDENTALES.

No se valorarán ningún tipo de acciones accidentales.

4. MÉTODO DE CÁLCULO

Para la determinación de esfuerzos en los elementos estructurales se han utilizado los postulados básicos de la elasticidad y la resistencia de materiales.

Para la comprobación de las secciones de acero, en general se han utilizado las bases de cálculo en el Estado Límite Último (ELU) y en el Estado Límite de Servicio (ELS).

4.1. CÁLCULOS POR ORDENADOR

Para la realización del predimensionado de la estructura portante, así como, para la comprobación de las deformaciones sufridas, se ha utilizado el programa informático METAL 3D.

5. CRITERIOS DE DIMENSIONADO

Para la realización del predimensionado del sistema, se ha verificado, según el DB SE apartado 4.3.3, las deformaciones de la estructura. La flecha se comprueba conforme a lo indicado en el apartado 4.3.3.1 de dicha norma, donde dice:

Cuando se considera la apariencia de la obra, se considera que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa es menor que 1/300.

Por lo tanto, la estructura propuesta ha de cumplir que la flecha sea menor de 1/300. Si tenemos una luz de 18 m, la flecha ha de ser menor que $1800\text{ cm}/300 = 6\text{ cm}$.

Los desplazamientos horizontales (desplome), se comprueban según lo indicado en el apartado 4.3.3.2 de la misma norma anterior, que indica:

Cuando se considera la apariencia de la obra, se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si ante cualquier combinación de acciones casi permanente, el desplome relativo es menor que 1/250.

Por lo que, se utiliza 1/250 para verificar el desplome de la estructura. Así que, si tenemos una altura total de planta de 6m, obtenemos un desplome máximo del punto más alto de $600\text{ cm}/250 = 2,4\text{ cm}$.

6. RESULTADOS DE PREDIMENSIONADO

Con todos los datos anteriormente expuestos, y después de haber introducido estos en el programa de cálculo citado en el apartado 4.1, podemos realizar un predimensionado del sistema estructural propuesto.

Como resumen de los resultados obtenidos, tenemos:

| Elemento | Sección (mm) | Espesores de pared(mm) | Material |
|---------------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| Arcos móviles | Tubular Ø 200 | 15 | Acero conformado S275 |
| Arco externo fijo a cimentación | Rectangular 300x100 | 10 | Acero conformado S275 |
| Bielas estabilizadoras | Tubular Ø 100 | 10 | Acero conformado S275 |
| Barras de celosía | Tubular Ø 100 | 10 | Acero conformado S275 |

Véase el plano de estructura nº 2 de la memoria gráfica del proyecto.

Se han cumplido los criterios de dimensionado vistos en el punto 5, tal y como podemos observar en las figuras 15, 16,17 y 18 obtenidas del programa de cálculo. Las figuras 11,12,13 y 14 corresponden a las diferentes hipótesis.

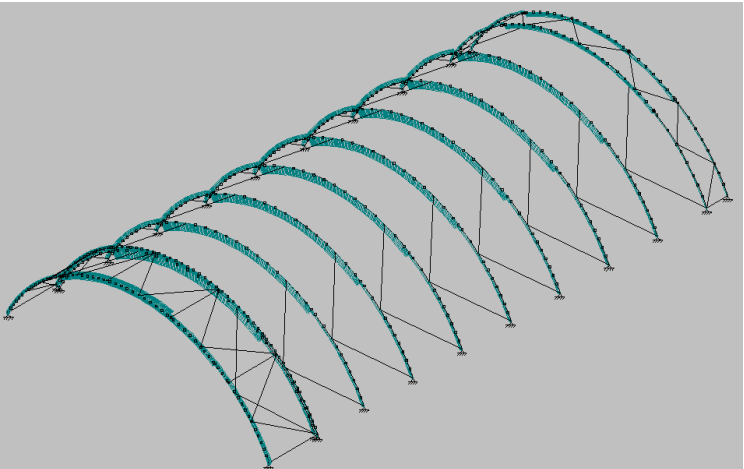


Figura 11. Sobrecarga de viento. Hipótesis 1

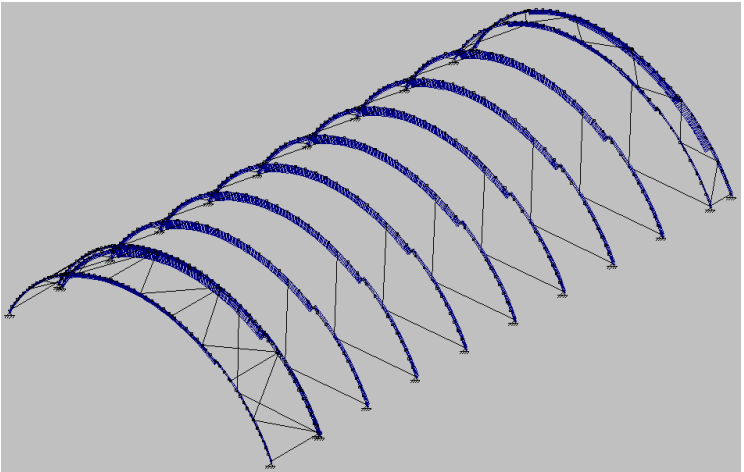


Figura 12. Sobrecarga de viento. Hipótesis 2

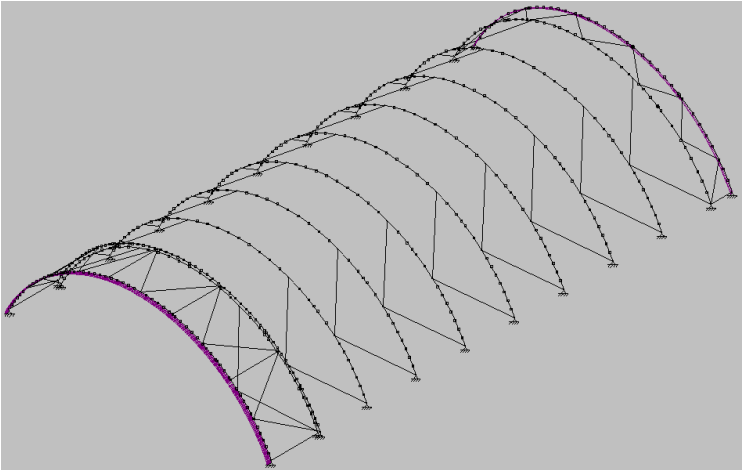


Figura 13. Sobrecarga de viento. Hipótesis 3

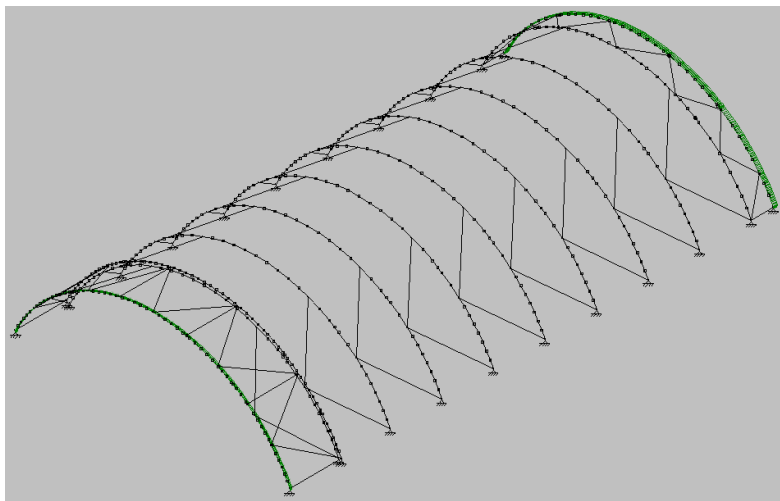


Figura 14. Sobrecarga de viento. Hipótesis 4

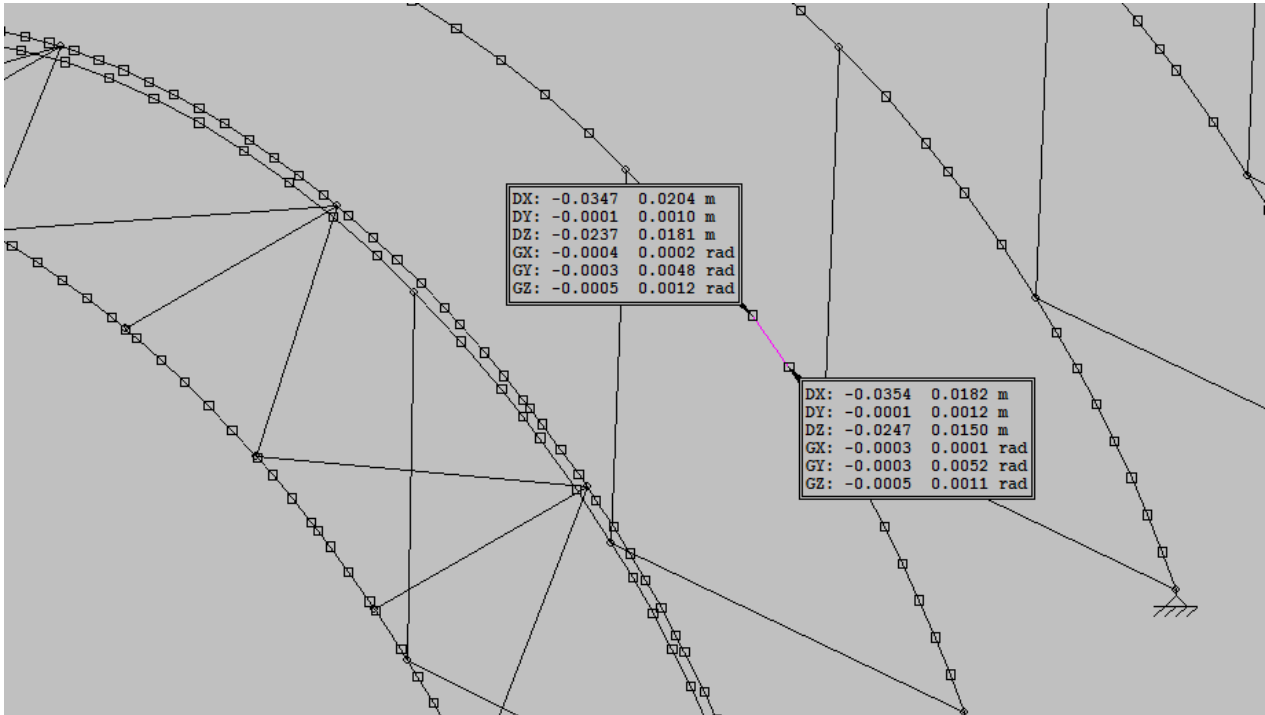


Figura 16. Desplazamientos 2

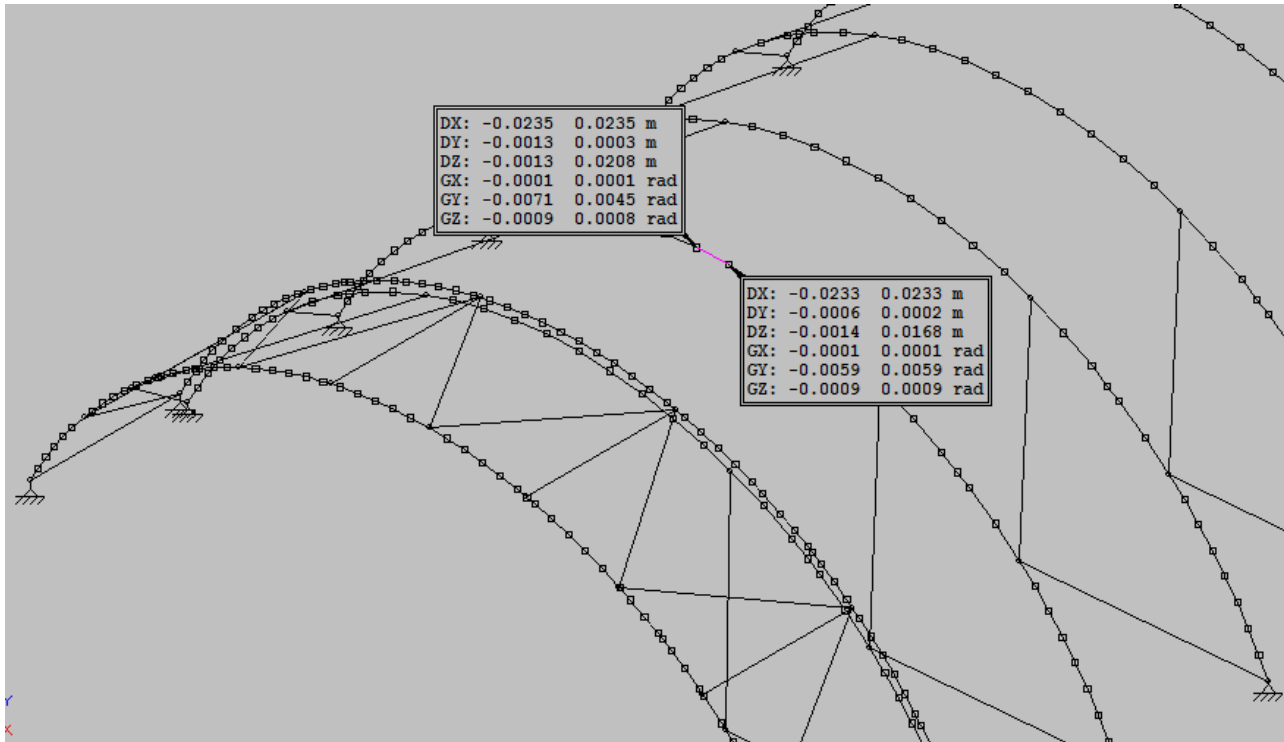


Figura 15. Desplazamientos 1

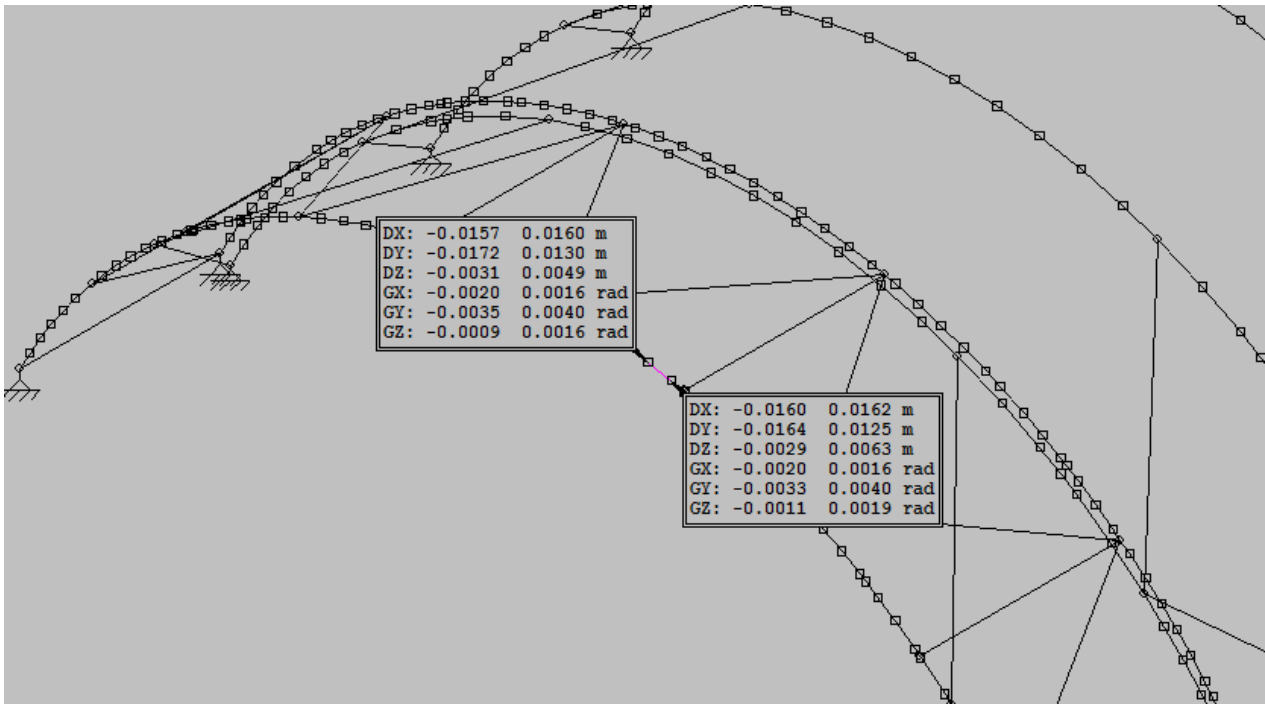


Figura 17. Desplazamientos 3

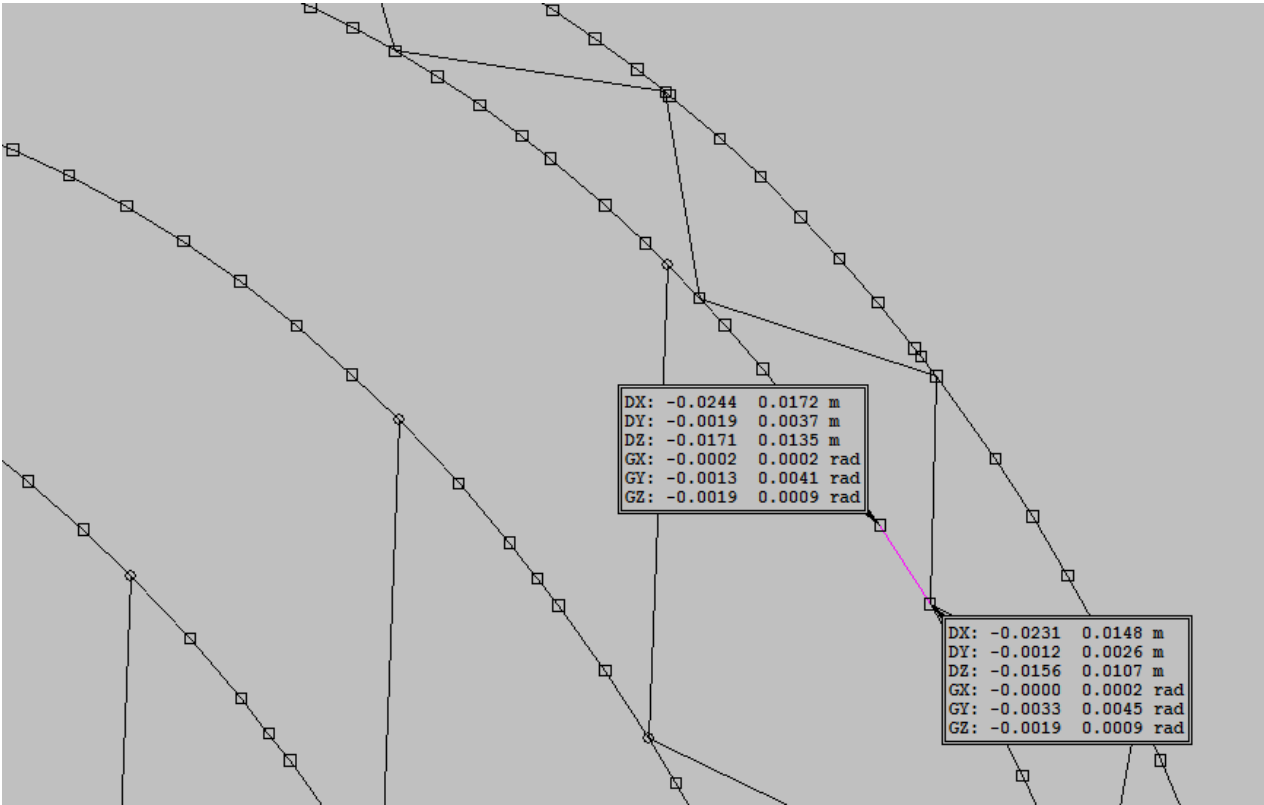


Figura 18. Desplazamientos 4

7. OBSERVACIONES

Cabe destacar, que los cálculos realizados para el predimensionado del sistema constructivo presentado, han sido exclusivamente del modelo desplegado, entendiéndose que para realizar el cálculo de las fases intermedias de desplegado se precisan herramientas informáticas de cálculo más complejas o ensayos sobre un prototipo.

8. NORMATIVA

8.1. NORMATIVA BÁSICA

DB SE “Documento Básico SE Seguridad estructural”

DB SE-AE, “Documento Básico SE Seguridad estructural Acciones en la edificación”

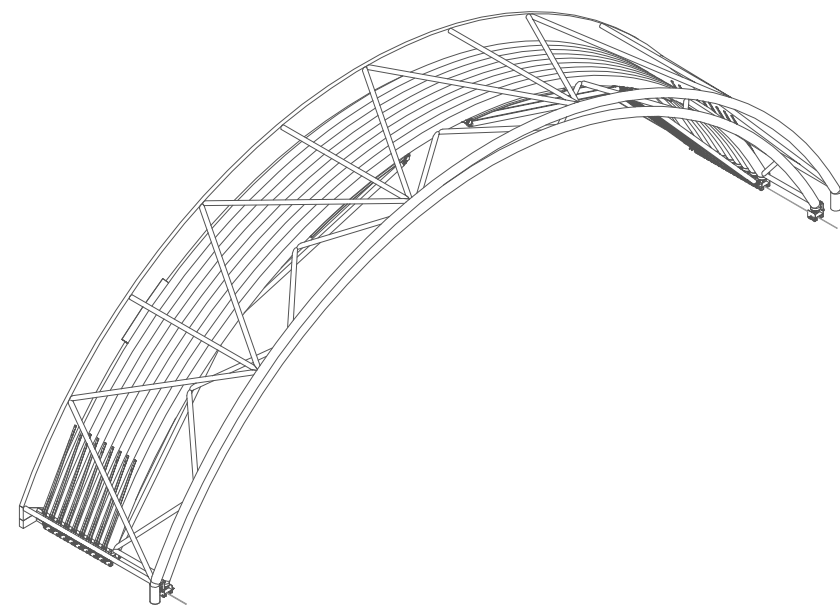
DB SE-A, “Documento Básico SE Seguridad estructural Acero”

8.2. NORMATIVA COMPLEMENTARIA

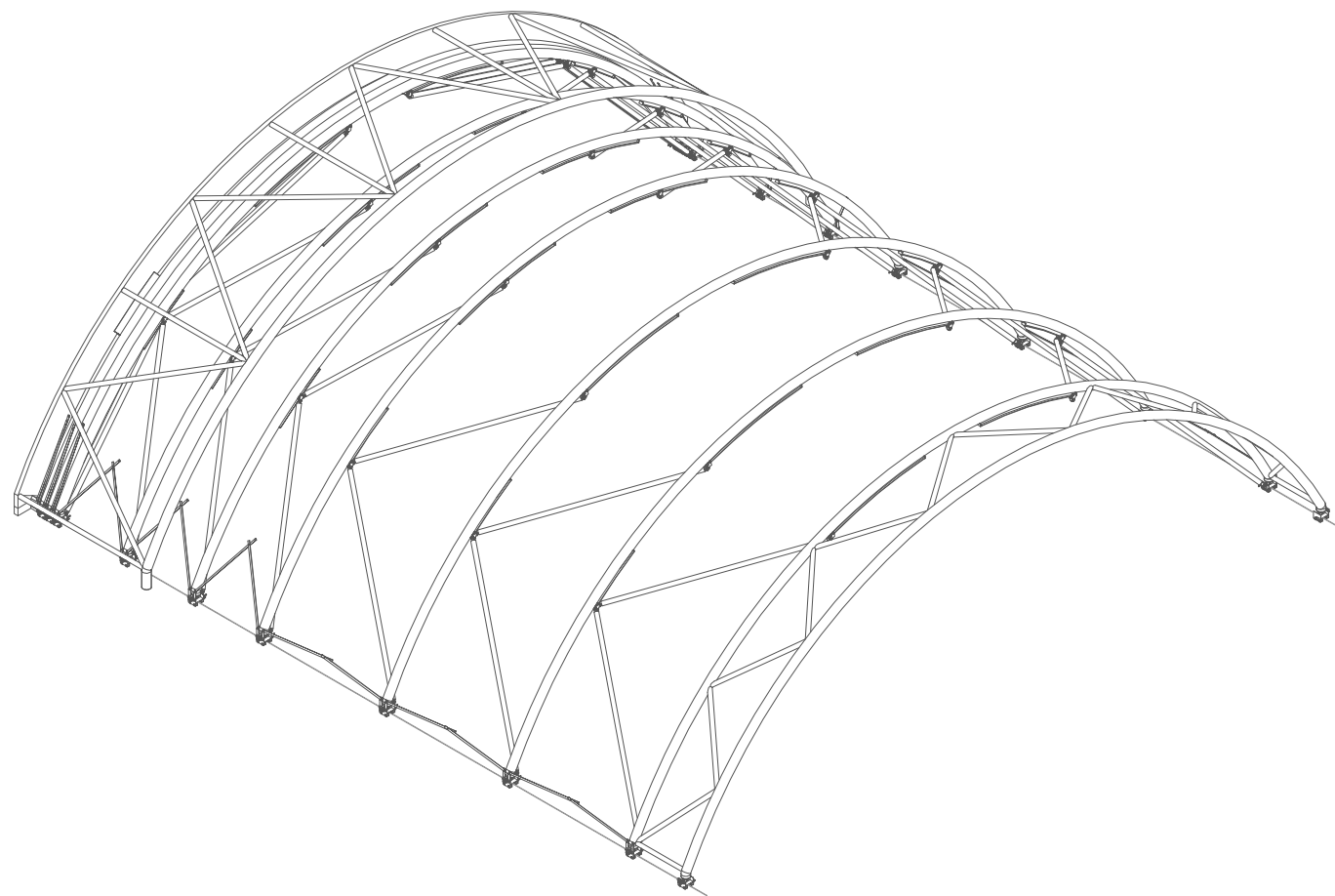
UNE-EN 13782:2005, Estructuras temporales. Carpas. Seguridad.

UNE-EN 1991-1-4:2007, Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de viento.

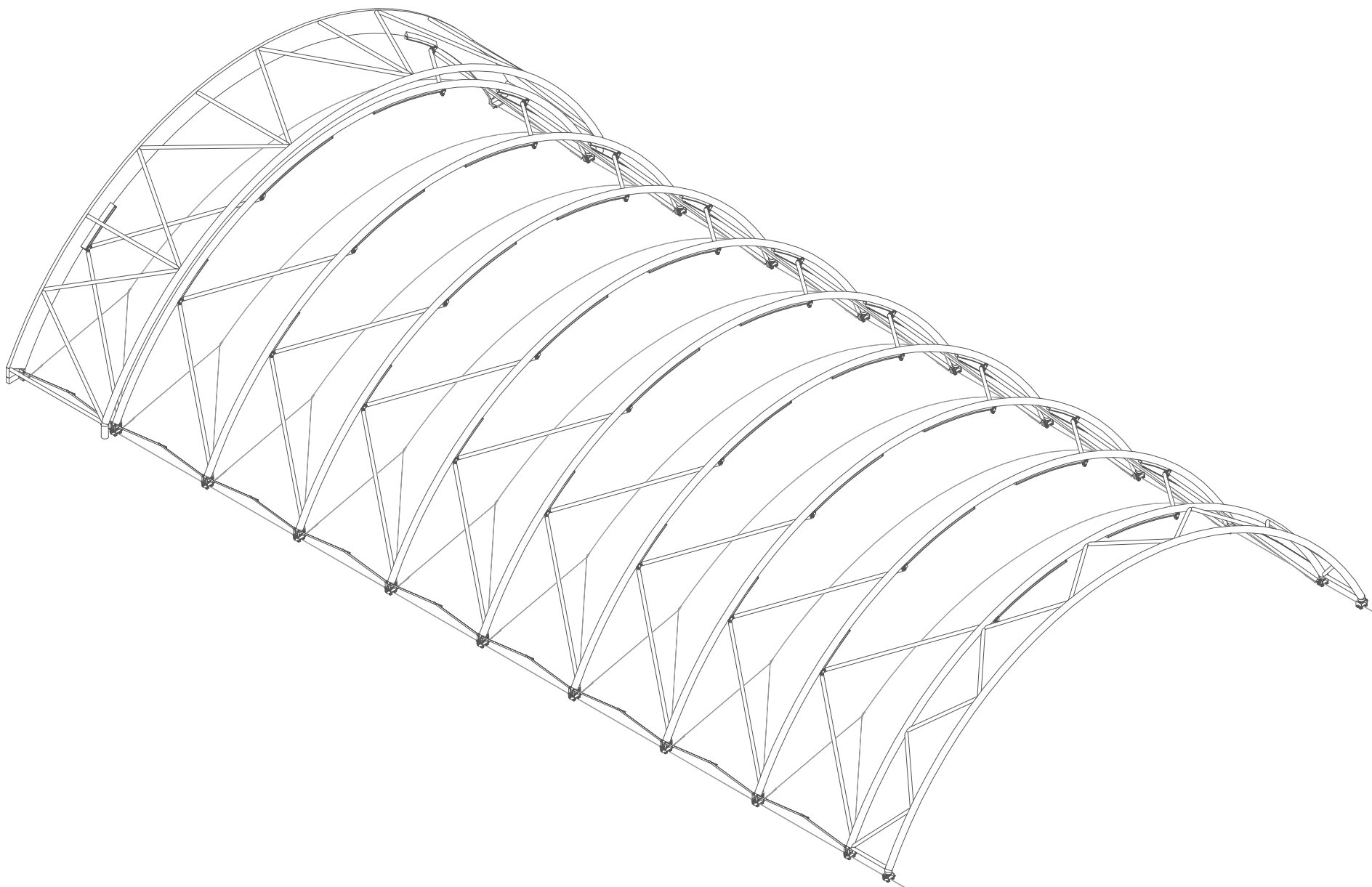
ESTRUCTURA PLEGADA



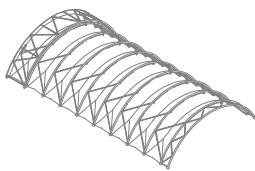
ESTRUCTURA SEMIDESPLEGADA



ESTRUCTURA DESPLEGADA



Diseño de sistema de cubierta móvil para piscinas



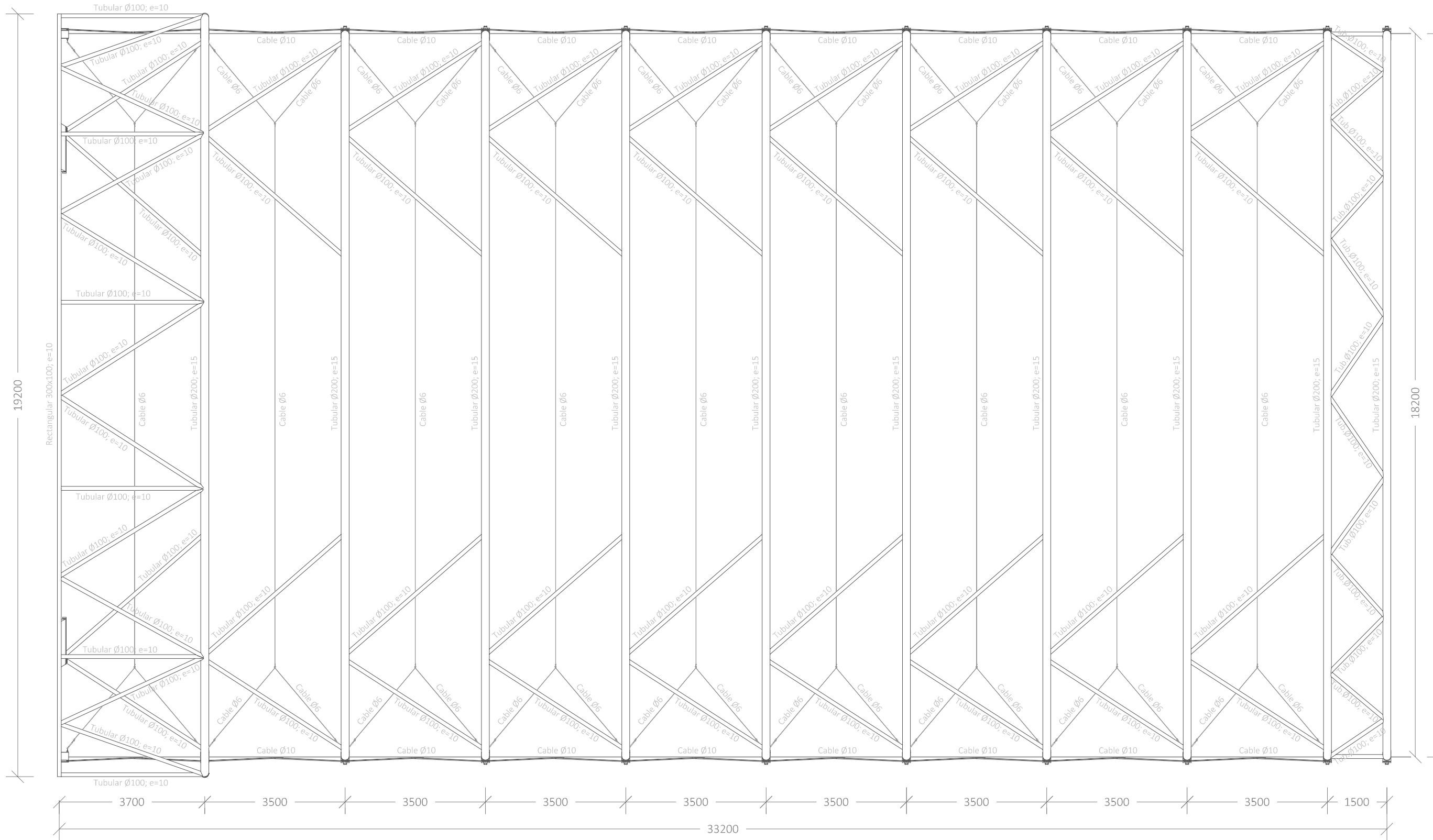
Plano
Esquemas fases de desplegado

Escala
Nº Plano
1

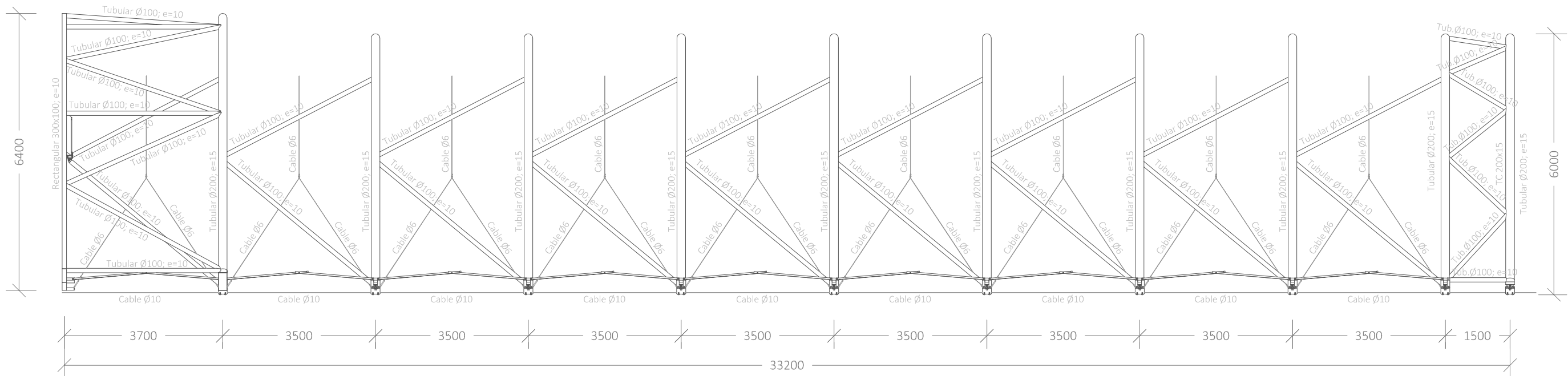
Autora del proyecto
Araceli López Rodríguez

Tutor del proyecto
Isaac López César

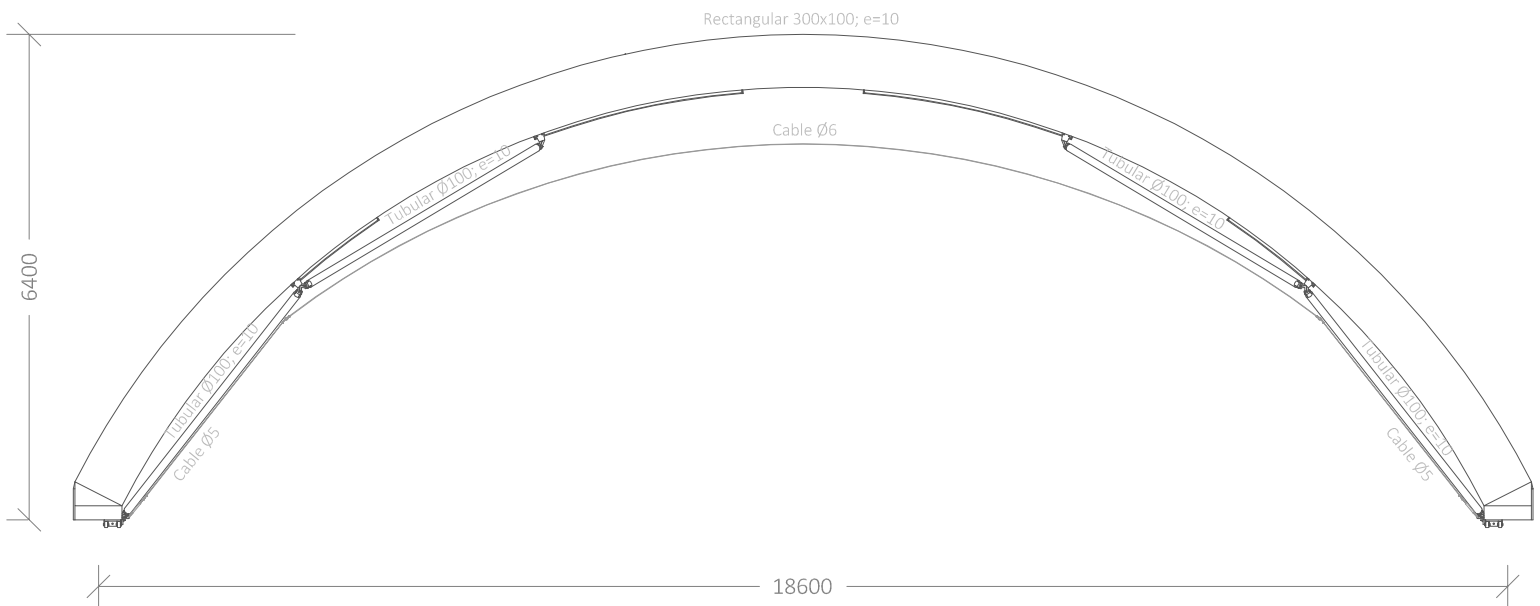
PLANTA DE ESTRUCTURA



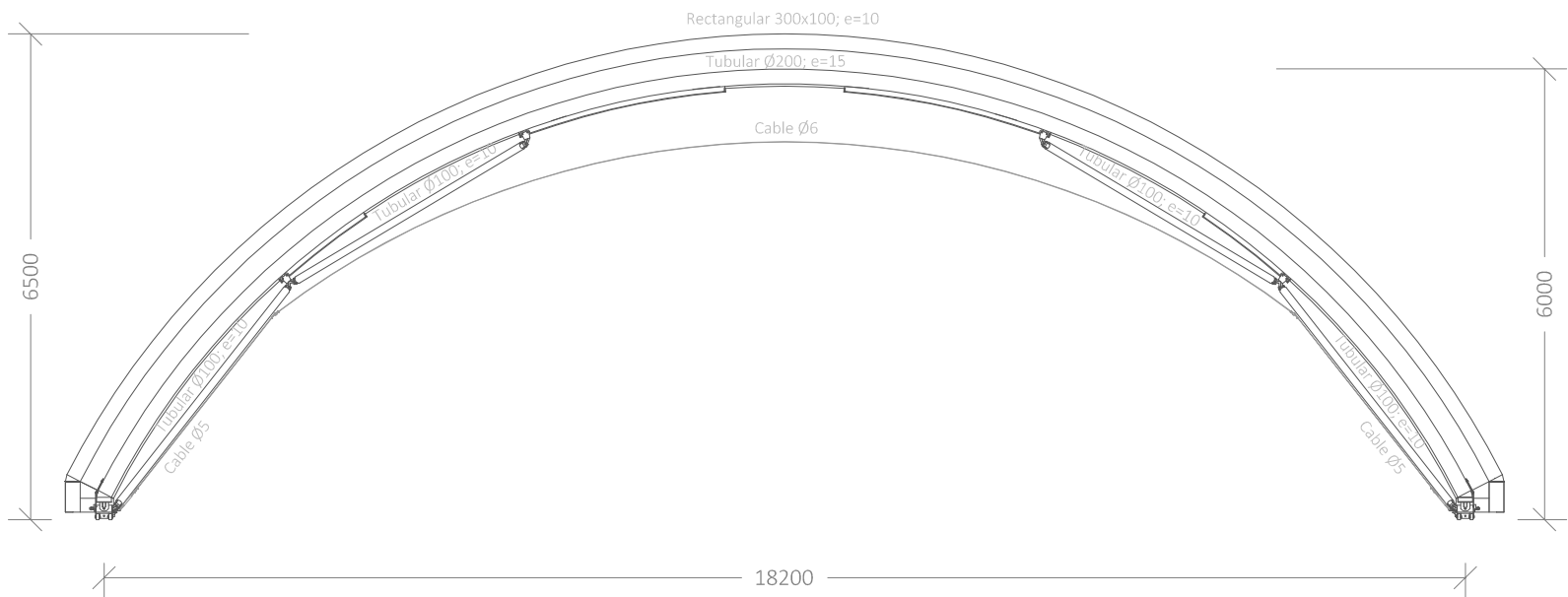
ALZADO



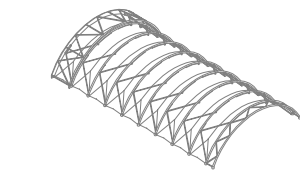
PERFIL IZQUIERDO



PERFIL DERECHO



Cotas en mm

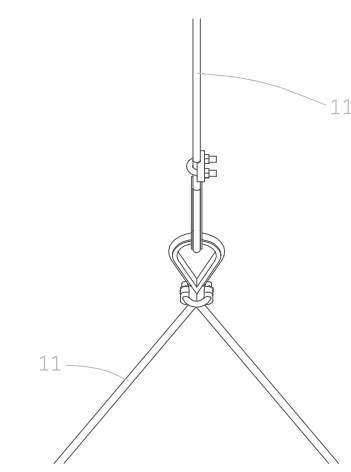


Diseño de sistema de cubierta móvil para piscinas

| | | |
|---|--------------------|----------|
| Plano | Escala | Nº Plano |
| Planta, alzado y perfiles de estructura, sin textil | Varias | 2 |
| Autora del proyecto | Tutor del proyecto | |
| Araceli López Rodríguez | Isaac López César | |

Technical drawing of a building facade, showing a grid of vertical and horizontal structural elements. The drawing includes callouts for various details: DET.1, DET.2, DET.3, DET.4, DET.5, and DET.6. The drawing is labeled 'E: 1/100' in the bottom right corner.

DETALLE 4_Nudo cable de tesado



DETALLE 5_Articulación doble

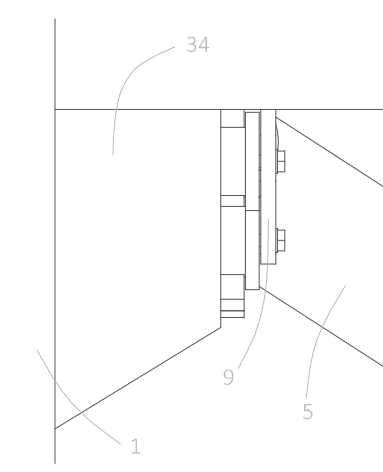
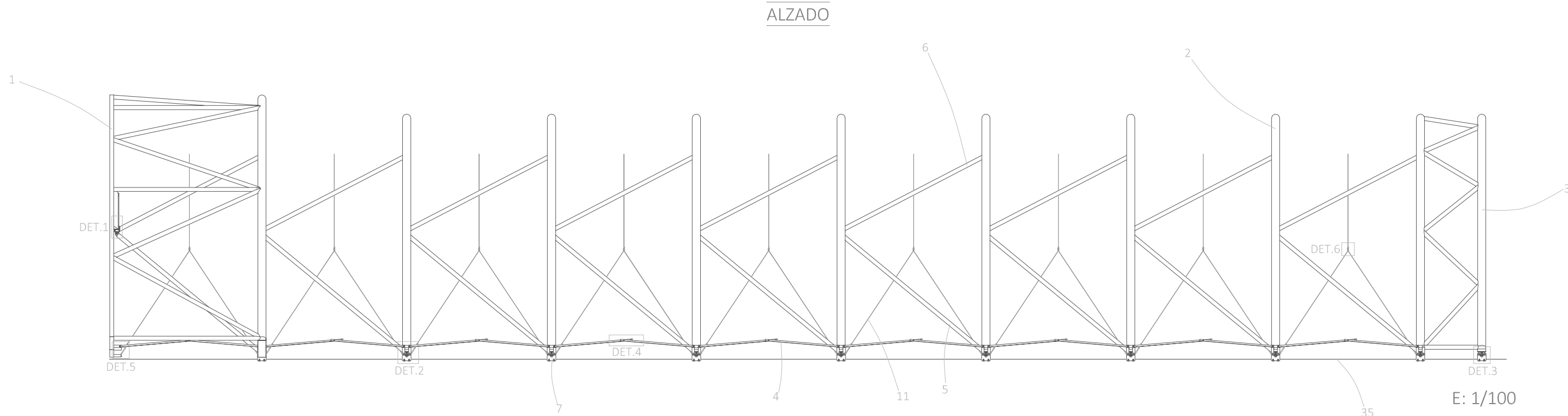


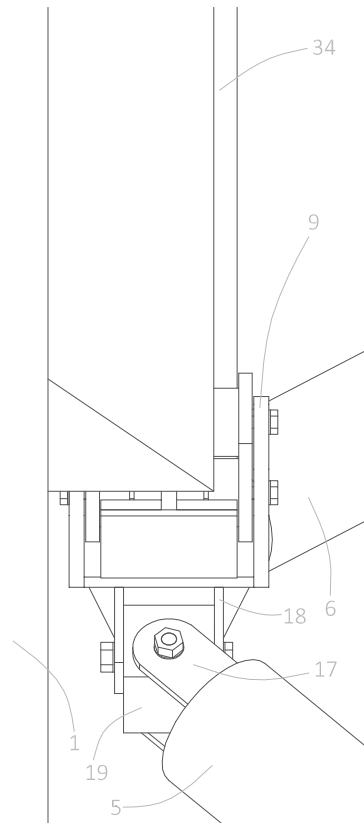
Fig. 1 is a perspective view of a cable support system. A cable (1) is attached to a bracket (12) which is connected to a support structure (32). The support structure is mounted on a base (35). A cable (4) is also shown at the bottom.

1. Arco en celosía fijo a cimentación.
2. Arco móvil.
3. Arco en celosía móvil.
4. Biela con ambas articulaciones fijas.
5. Biela con una articulación fija y otra deslizante.
6. Biela con ambas articulaciones deslizantes.
7. Deslizadera o elemento de rodadura de los arcos móviles.
8. Articulación fija de una biela.
9. Articulación deslizante a la que acometen dos bielas.
10. Articulación deslizante a la que acomete una biela.
11. Cable de tesado del cerramiento.
12. Tensor del cable de tesado.
13. Elemento de anclaje del cable de tesado del cerramiento.
14. Chapas de conexión del arco a la deslizadera.
15. Chapa para anclaje de bielas de articulaciones fijas.
16. Chapas de conexión de deslizadera a rótula.
17. Chapas de conexión de biela a rótula.
18. Chapas de conexión de articulación a rótula.
19. Rótula.
20. Elemento de fijación al raíl.
21. Elemento de rodadura inferior.
22. Elemento de rodadura lateral.
23. Elemento de rodadura superior frontal.
24. Elemento de rodadura superior posterior.
25. Elemento superior de rodadura por raíl del arco.
26. Elemento inferior de rodadura por raíl del arco.
27. Elemento de fijación del cable de tracción para desplegado y plegado del sistema.
28. Tope.
29. Textil.
30. Elementos de fijación de textil a arcos.
31. Cremallera de unión de textil a arco en celosía fijo a cimentación.
32. Elemento de neopreno para amortiguación.
33. Raíl.
34. Raíl del arco.
35. Cable de tracción para plegado y desplegado.
36. Piscina.

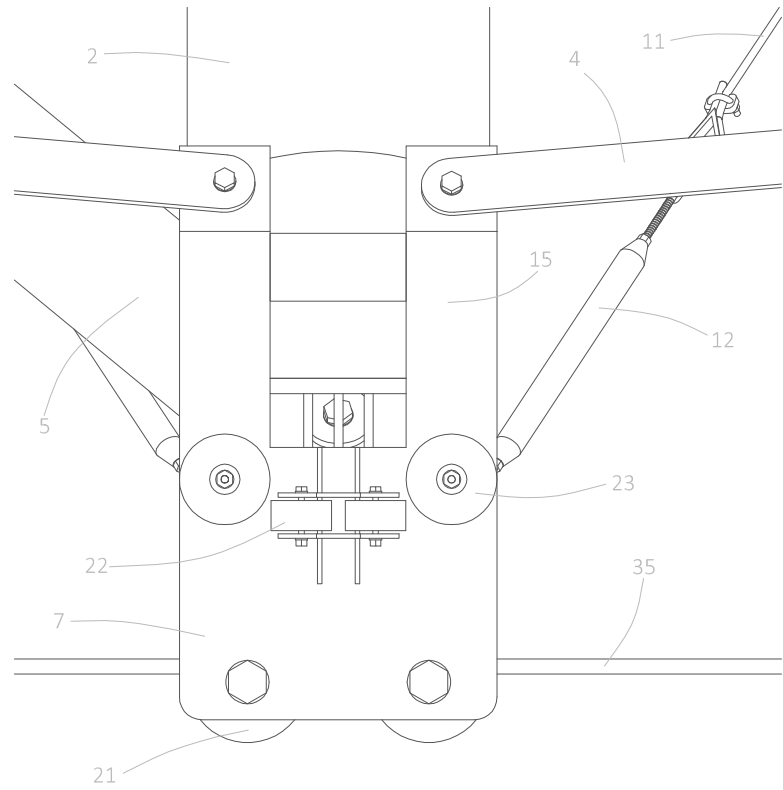
| | | |
|--|--------------------|----------|
| Plano | Escala | Nº Plano |
| Estructura desplegada y detalles, sin textil | Varias | 3 |
| Autora del proyecto | Tutor del proyecto | |
| Araceli López Rodríguez | Isaac López César | |



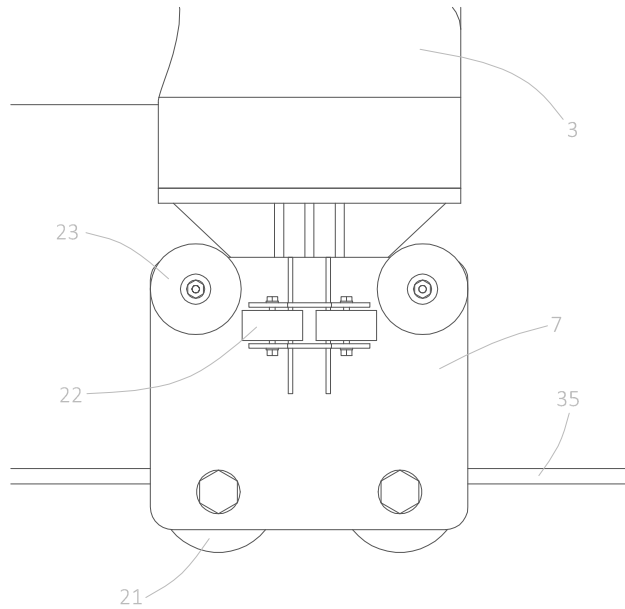
DETALLE 1_Articulación deslizante doble



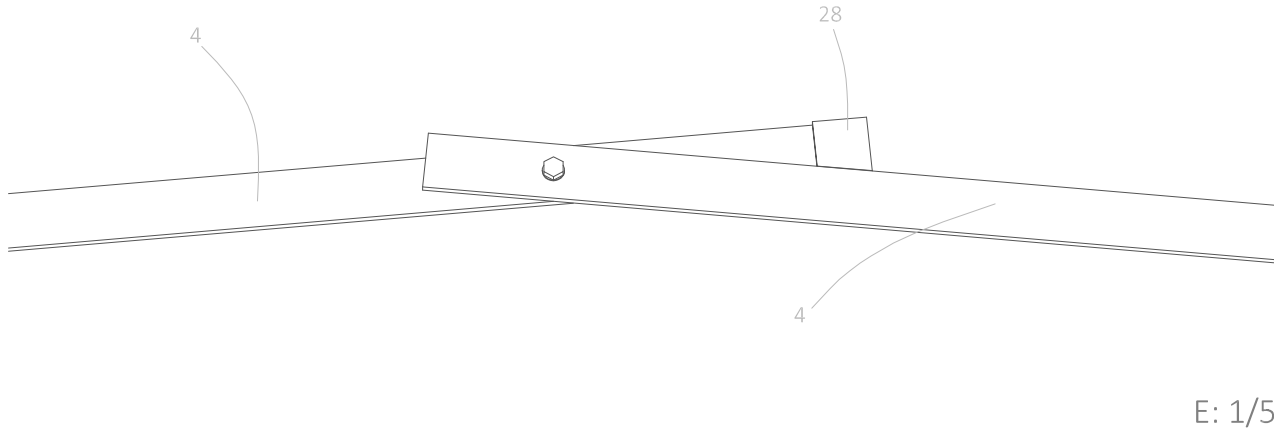
DETALLE 2_Deslizadera arcos



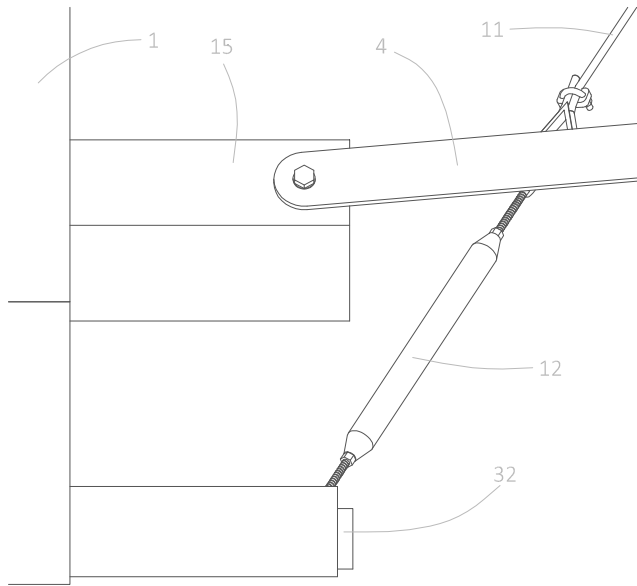
DETALLE 3_Deslizadera arco celosía



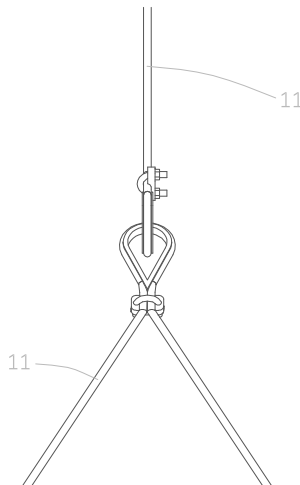
DETALLE 4_Deslizadera arcos



DETALLE 5_Final de recorrido y tensor



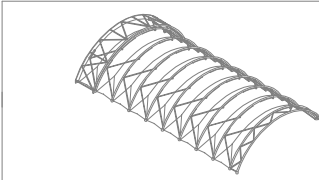
DETALLE 6_Nudo cable de tesado

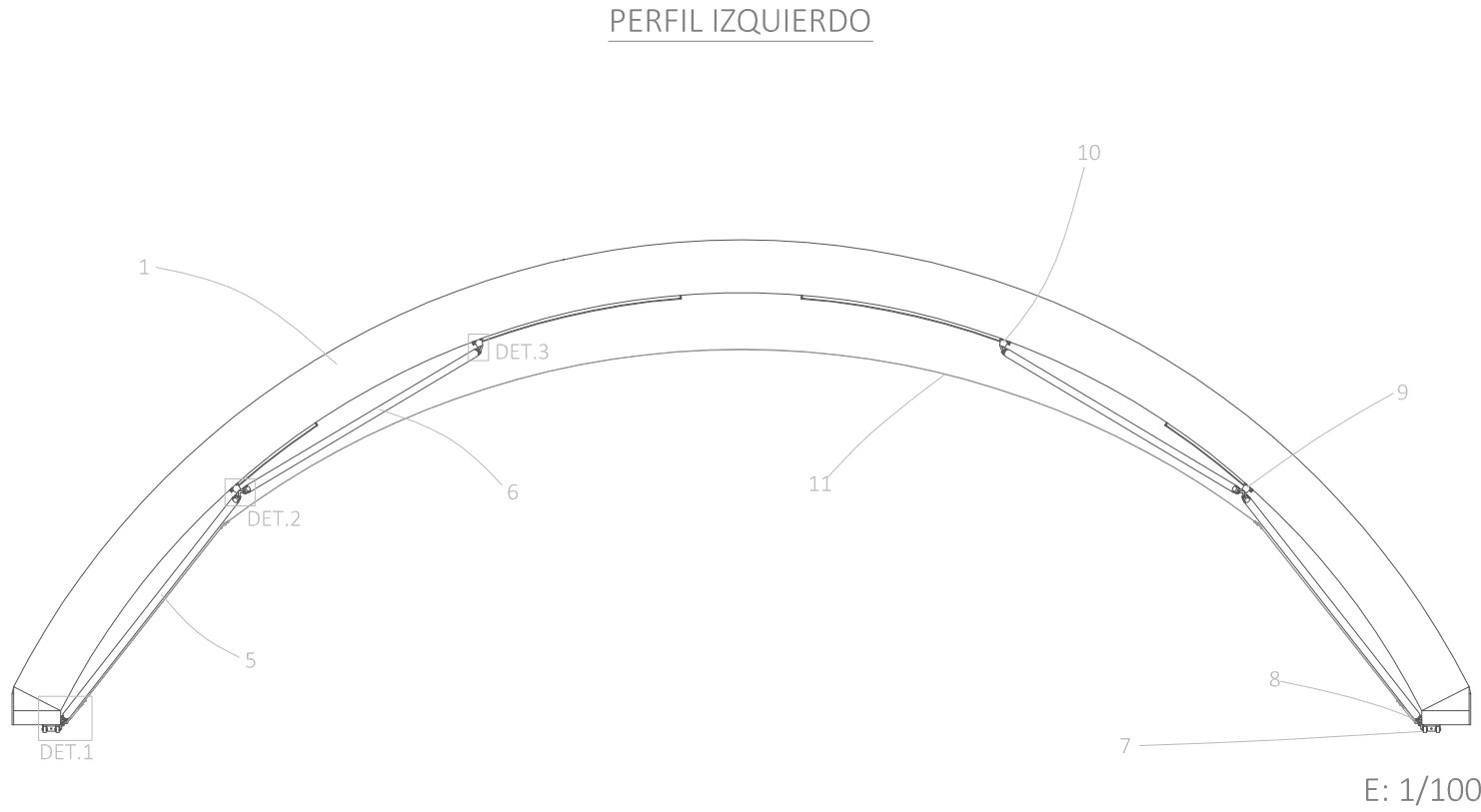


LEYENDA

- Arco en celosía fijo a cimentación.
- Arco móvil.
- Arco en celosía móvil.
- Biela con ambas articulaciones fijas.
- Biela con una articulación fija y otra deslizante.
- Biela con ambas articulaciones deslizantes.
- Deslizadera o elemento de rodadura de los arcos móviles.
- Articulación fija de una biela.
- Articulación deslizante a la que acometen dos bielas.
- Articulación deslizante a la que acomete una biela.
- Cable de tesado del cerramiento.
- Tensor del cable de tesado.
- Elemento de anclaje del cable de tesado del cerramiento.
- Chapas de conexión del arco a la deslizadera.
- Chapa para anclaje de bielas de articulaciones fijas.
- Chapas de conexión de deslizadera a rótula.
- Chapas de conexión de biela a rótula.
- Chapas de conexión de articulación a rótula.
- Rótula.
- Elemento de fijación al raíl.
- Elemento de rodadura inferior.
- Elemento de rodadura lateral.
- Elemento de rodadura superior frontal.
- Elemento de rodadura superior posterior.
- Elemento superior de rodadura por raíl del arco.
- Elemento inferior de rodadura por raíl del arco.
- Elemento de fijación del cable de tracción para desplegado y plegado del sistema.
- Tope.
- Textil.
- Elementos de fijación de textil a arcos.
- Cremallera de unión de textil a arco en celosía fijo a cimentación.
- Elemento de neopreno para amortiguación.
- Raíl.
- Raíl del arco.
- Cable de tracción para plegado y desplegado.
- Piscina.

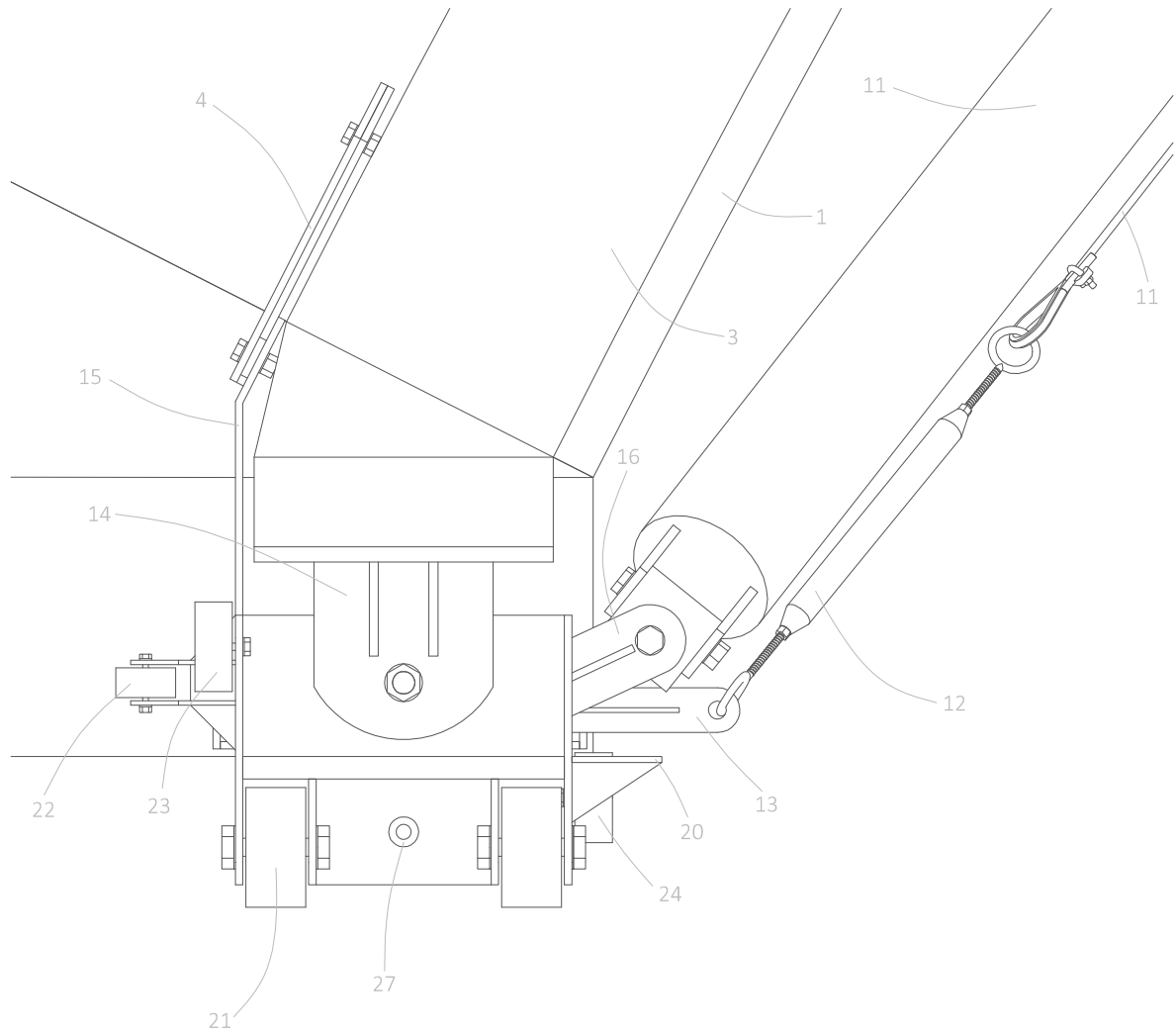
Diseño de sistema de cubierta móvil para piscinas

| | | | |
|---|--|------------------|---------------|
|  | Plano Alzado y detalles, sin textil | Escala Varias | Nº Plano 4 |
| | Autora del proyecto Araceli López Rodríguez | | |
| | Tutor del proyecto Isaac López César | | |



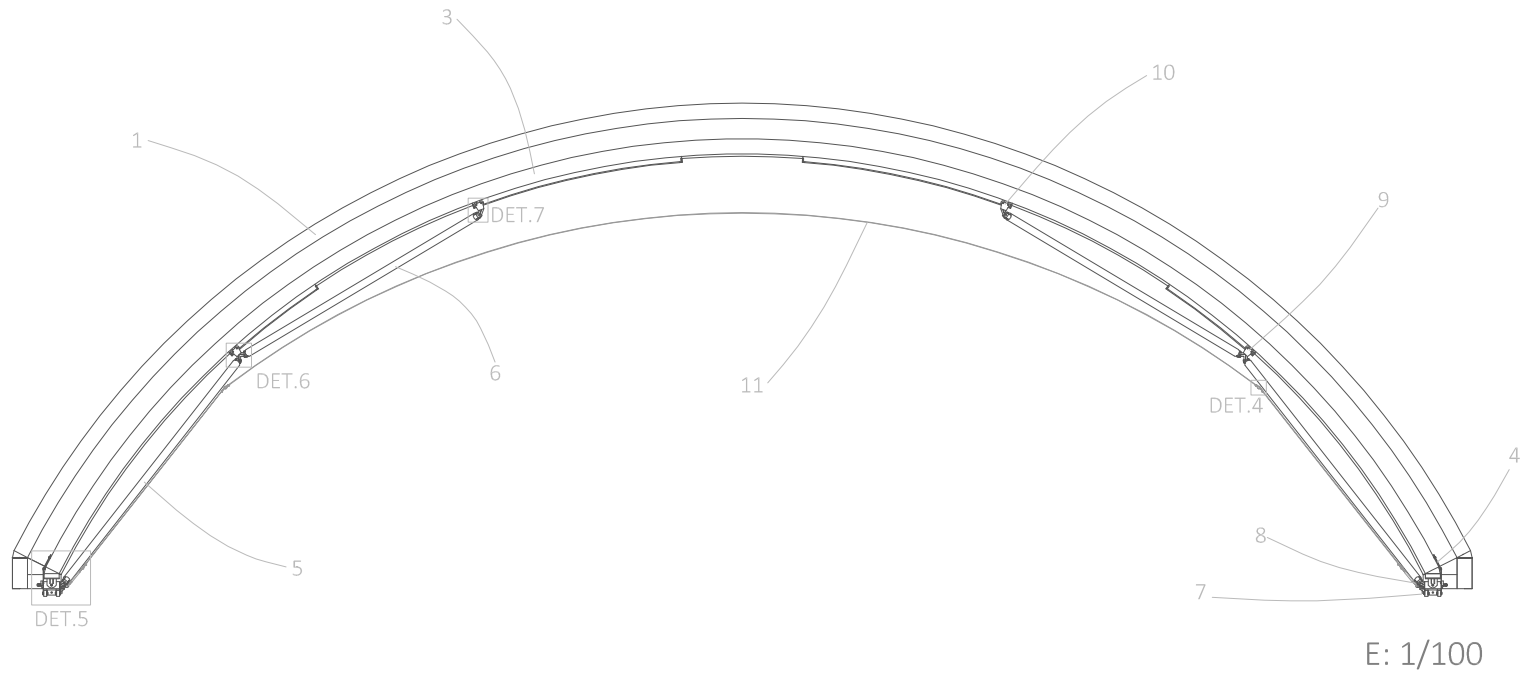
PERFIL IZQUIERDO

E: 1/100



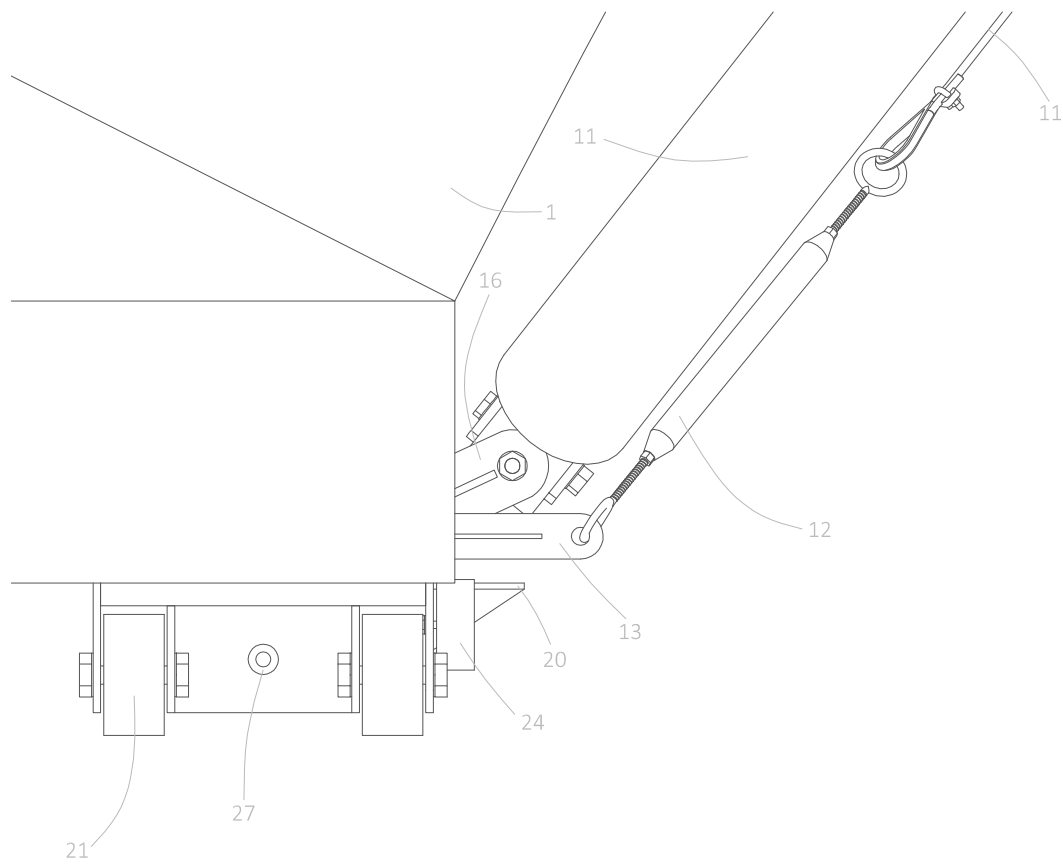
DETALLE 5_Deslizadera arcos

E: 1/5



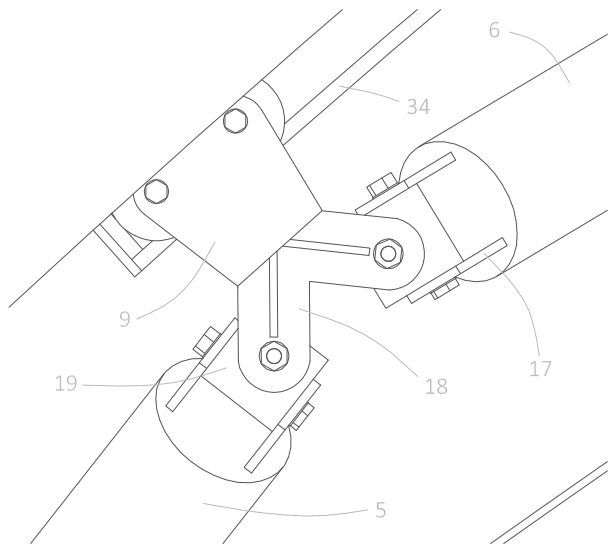
PERFIL DERECHO

E: 1/100



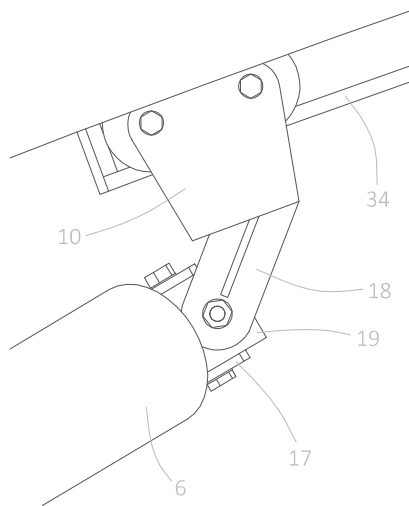
DETALLE 1_Deslizadera arcos

E: 1/5



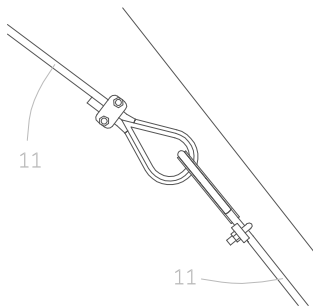
DETALLE 2_Articulación deslizante doble

E: 1/5



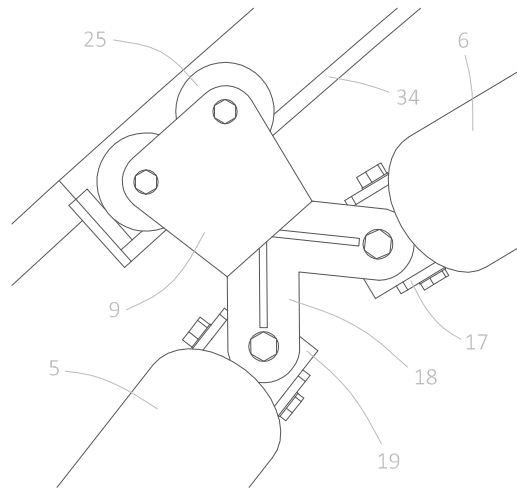
DETALLE 3_Articulación deslizante simple

E: 1/5



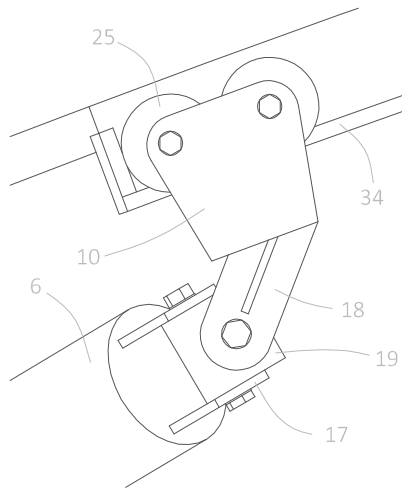
DETALLE 4_Nudo clable de tasado

E: 1/5



DETALLE 6_Articulación deslizante doble

E: 1/5



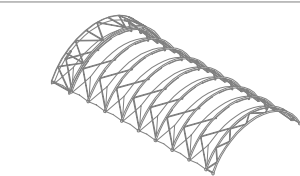
DETALLE 7_Articulación deslizante simple

E: 1/5

LEYENDA

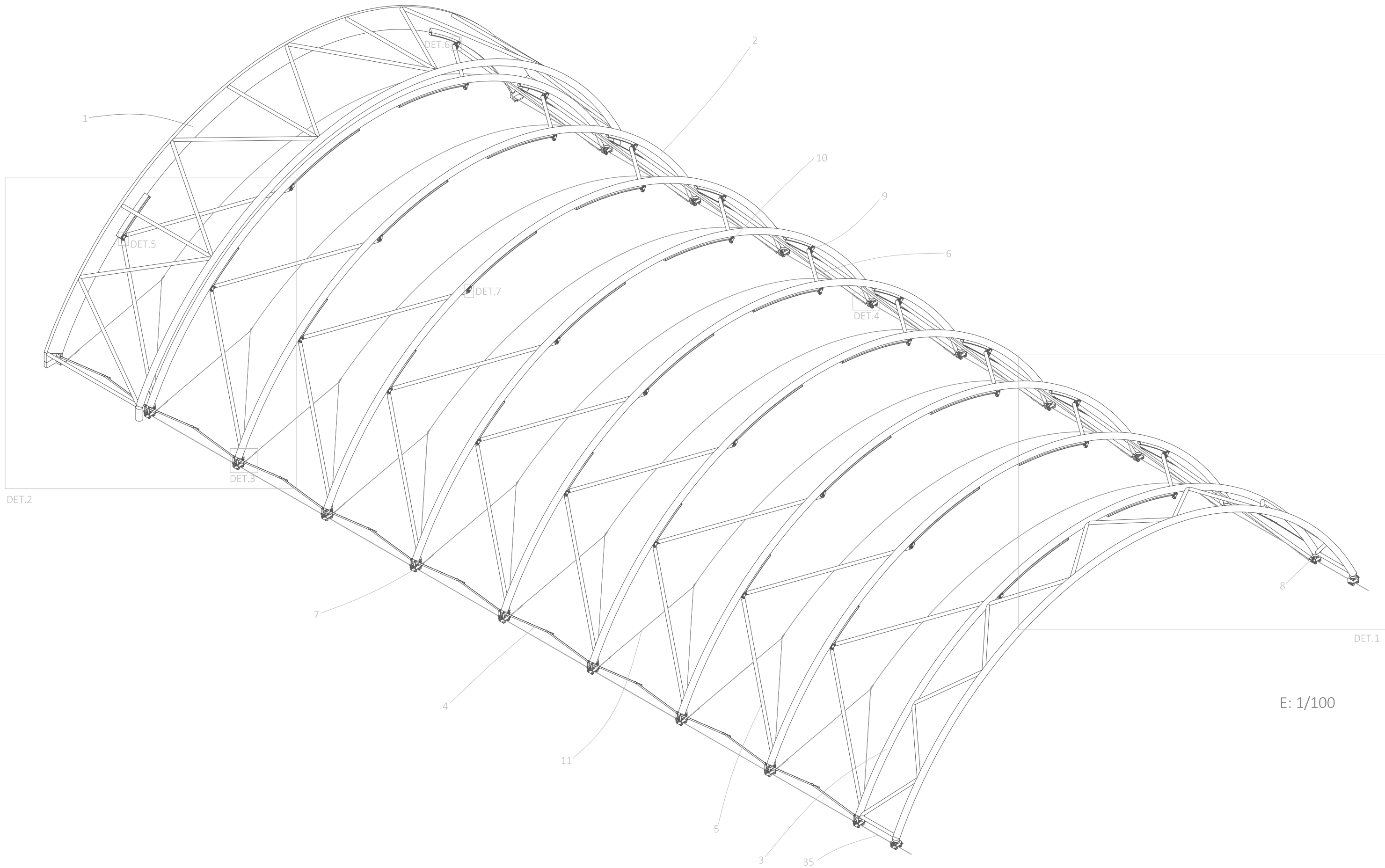
- Arco en celosía fijo a cimentación.
- Arco móvil.
- Arco en celosía móvil.
- Biela con ambas articulaciones fijas.
- Biela con una articulación fija y otra deslizante.
- Biela con ambas articulaciones deslizantes.
- Deslizadera o elemento de rodadura de los arcos móviles.
- Articulación fija de una biela.
- Articulación deslizante a la que acometen dos bielas.
- Articulación deslizante a la que acomete una biela.
- Cable de tesado del cerramiento.
- Tensor del cable de tesado.
- Elemento de anclaje del cable de tesado del cerramiento.
- Chapas de conexión del arco a la deslizadera.
- Chapa para anclaje de bielas de articulaciones fijas.
- Chapas de conexión de deslizadera a rótula.
- Chapas de conexión de biela a rótula.
- Chapas de conexión de articulación a rótula.
- Rótula.
- Elemento de fijación al raíl.
- Elemento de rodadura inferior.
- Elemento de rodadura lateral.
- Elemento de rodadura superior frontal.
- Elemento de rodadura superior posterior.
- Elemento superior de rodadura por raíl del arco.
- Elemento inferior de rodadura por raíl del arco.
- Elemento de fijación del cable de tracción para desplegado y plegado del sistema.
- Tope.
- Textil.
- Elementos de fijación de textil a arcos.
- Cremallera de unión de textil a arco en celosía fijo a cimentación.
- Elemento de neopreno para amortiguación.
- Raíl.
- Raíl del arco.
- Cable de tracción para plegado y desplegado.
- Piscina.

Diseño de sistema de cubierta móvil para piscinas

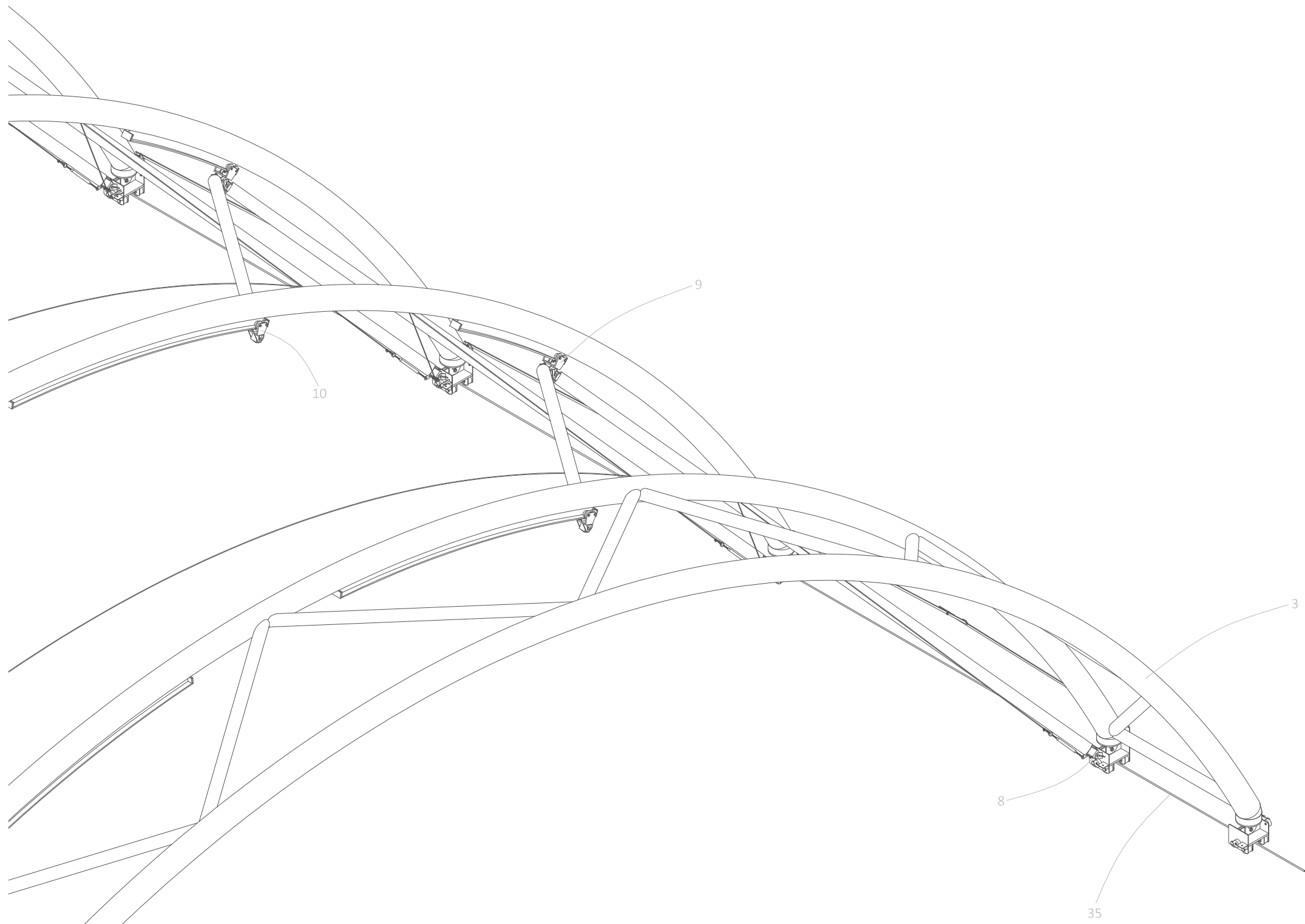


| | | | | | |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------|--------|----------|---|
| Plano | Perfiles y detalles, sin textil | Escala | Varías | Nº Plano | 5 |
| Autora del proyecto | | Tutor del proyecto | | | |
| Araceli López Rodríguez | | Isaac López César | | | |

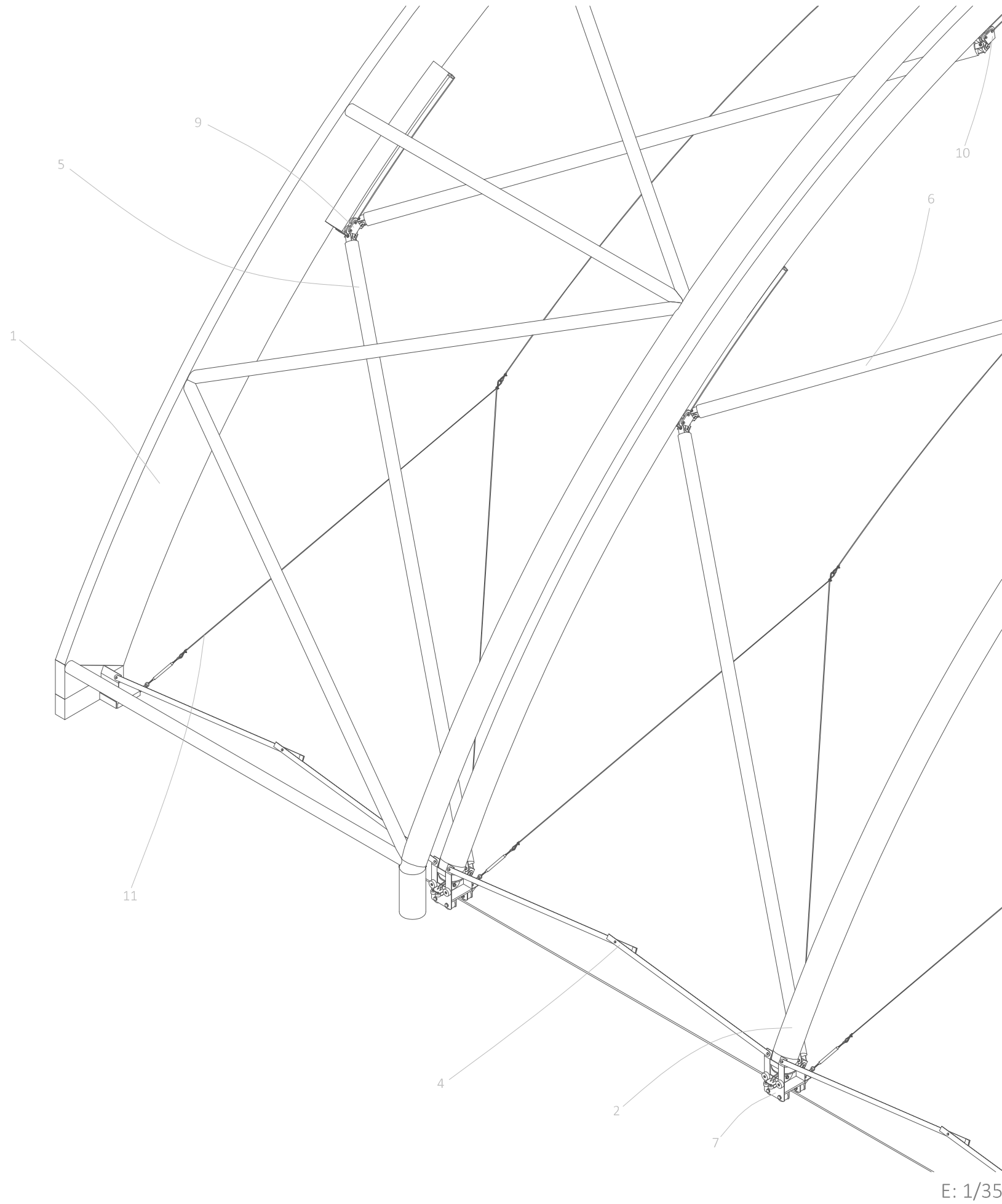
ISOMETRÍA



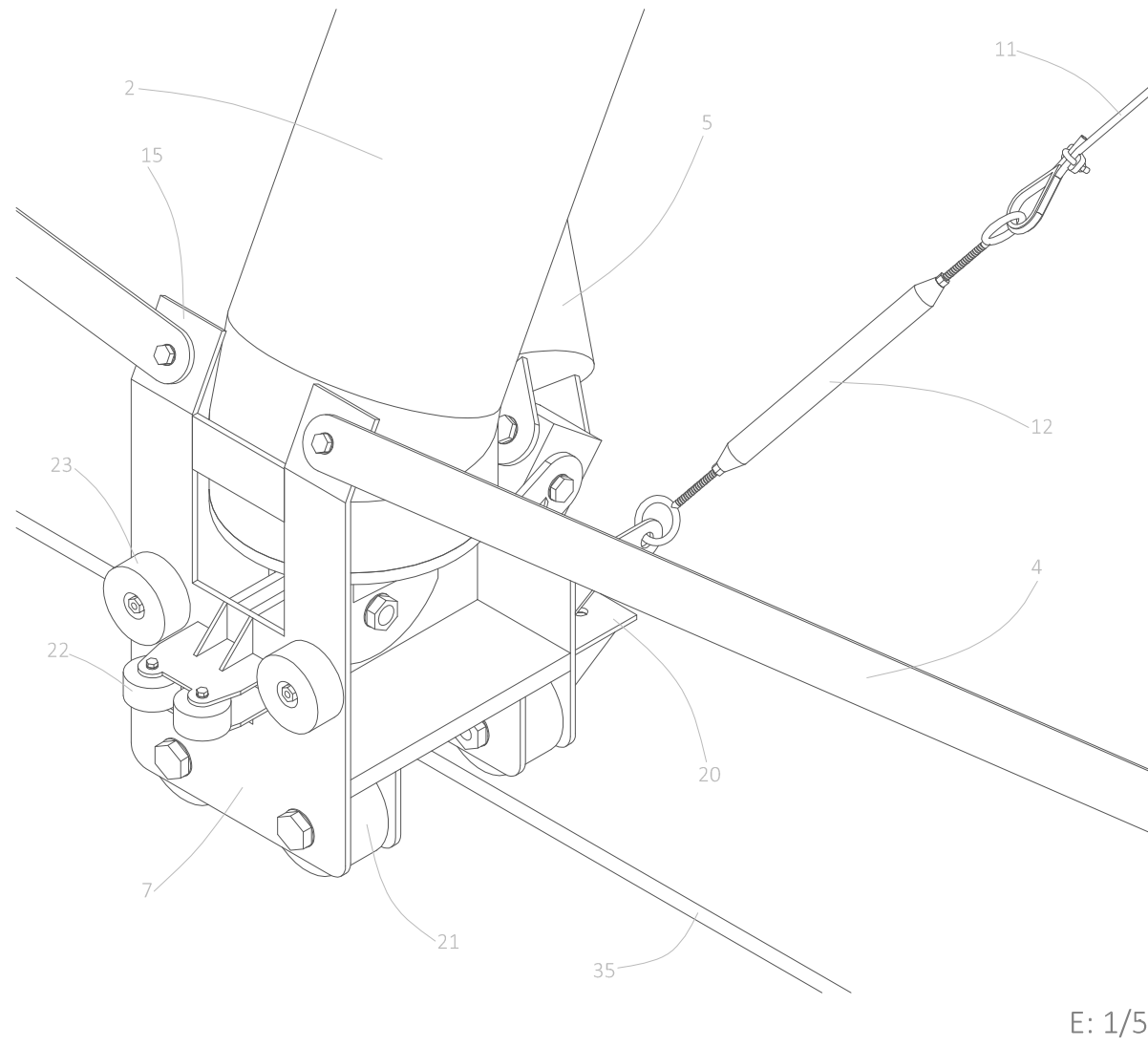
DETALLE 1



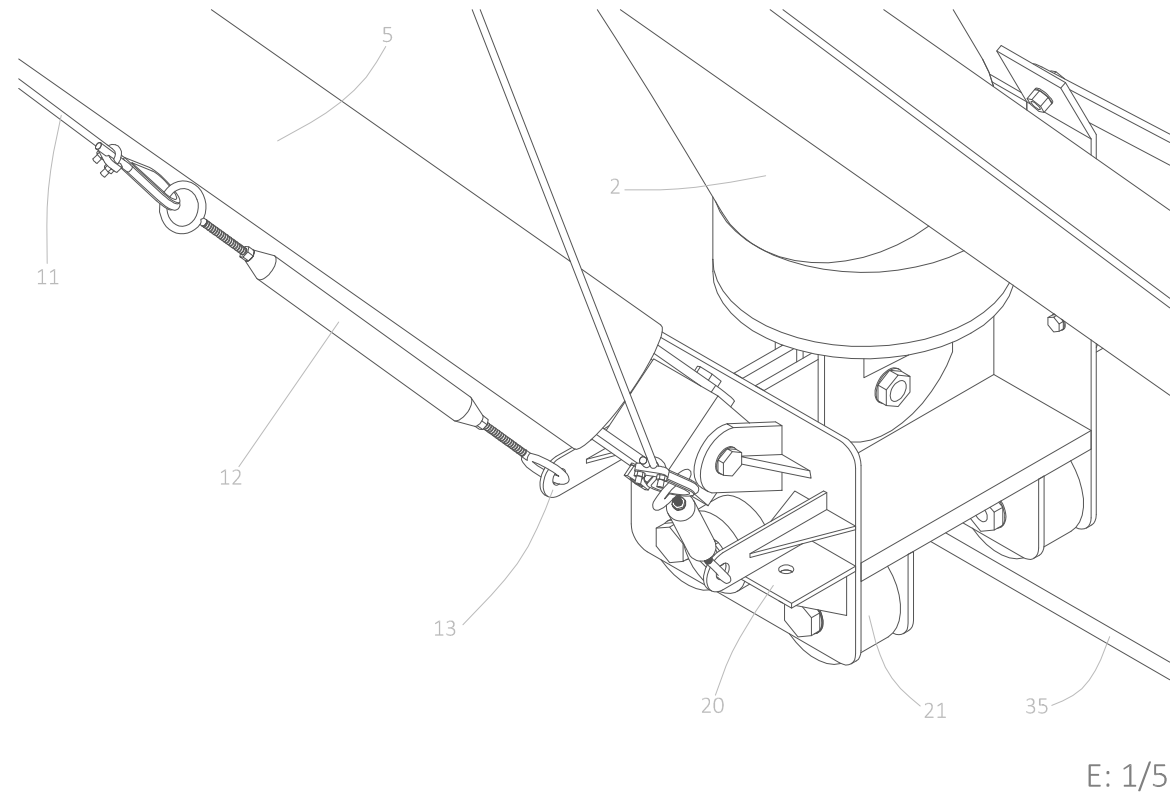
DETALLE 2



DETALLE 3 _Deslizadera arcos



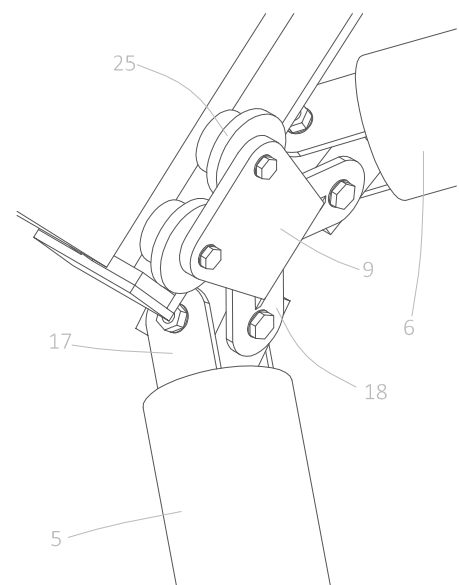
DETALLE 4 _Deslizadera arcos



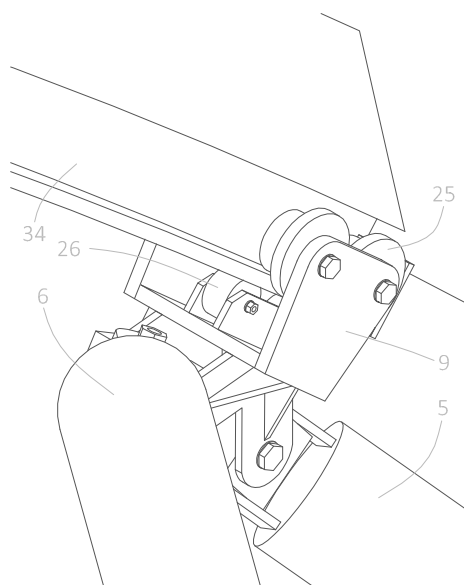
LEYENDA

- Arco en celosía fijo a cimentación.
- Arco móvil.
- Arco en celosía móvil.
- Bielas con ambas articulaciones fijas.
- Bielas con una articulación fija y otra deslizante.
- Bielas con ambas articulaciones deslizantes.
- Deslizadera o elemento de rodadura de los arcos móviles.
- Articulación fija de una biela.
- Articulación deslizante a la que acometen dos bielas.
- Articulación deslizante a la que acomete una biela.
- Cable de tesado del cerramiento.
- Tensor del cable de tesado.
- Elemento de anclaje del cable de tesado del cerramiento.
- Chapas de conexión del arco a la deslizadera.
- Chapa para anclaje de bielas de articulaciones fijas.
- Chapas de conexión de deslizadera a rótula.
- Chapas de conexión de biela a rótula.
- Chapas de conexión de articulación a rótula.
- Rótula.
- Elemento de fijación al raíl.
- Elemento de rodadura inferior.
- Elemento de rodadura lateral.
- Elemento de rodadura superior frontal.
- Elemento de rodadura superior posterior.
- Elemento superior de rodadura por raíl del arco.
- Elemento inferior de rodadura por raíl del arco.
- Elemento de fijación del cable de tracción para desplegado y plegado del sistema.
- Tope.
- Textil.
- Elementos de fijación de textil a arcos.
- Cremallera de unión de textil a arco en celosía fijo a cimentación.
- Elemento de neopreno para amortiguación.
- Raíl.
- Raíl del arco.
- Cable de tracción para plegado y desplegado.
- Piscina.

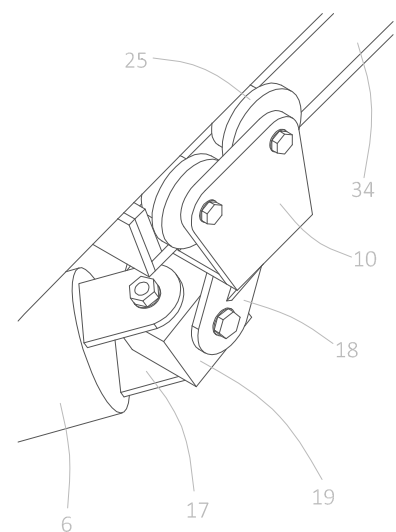
DETALLE 5 _Articulación deslizante doble



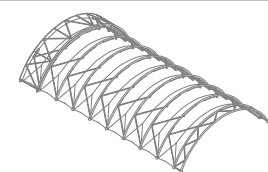
DETALLE 6 _Articulación deslizante doble



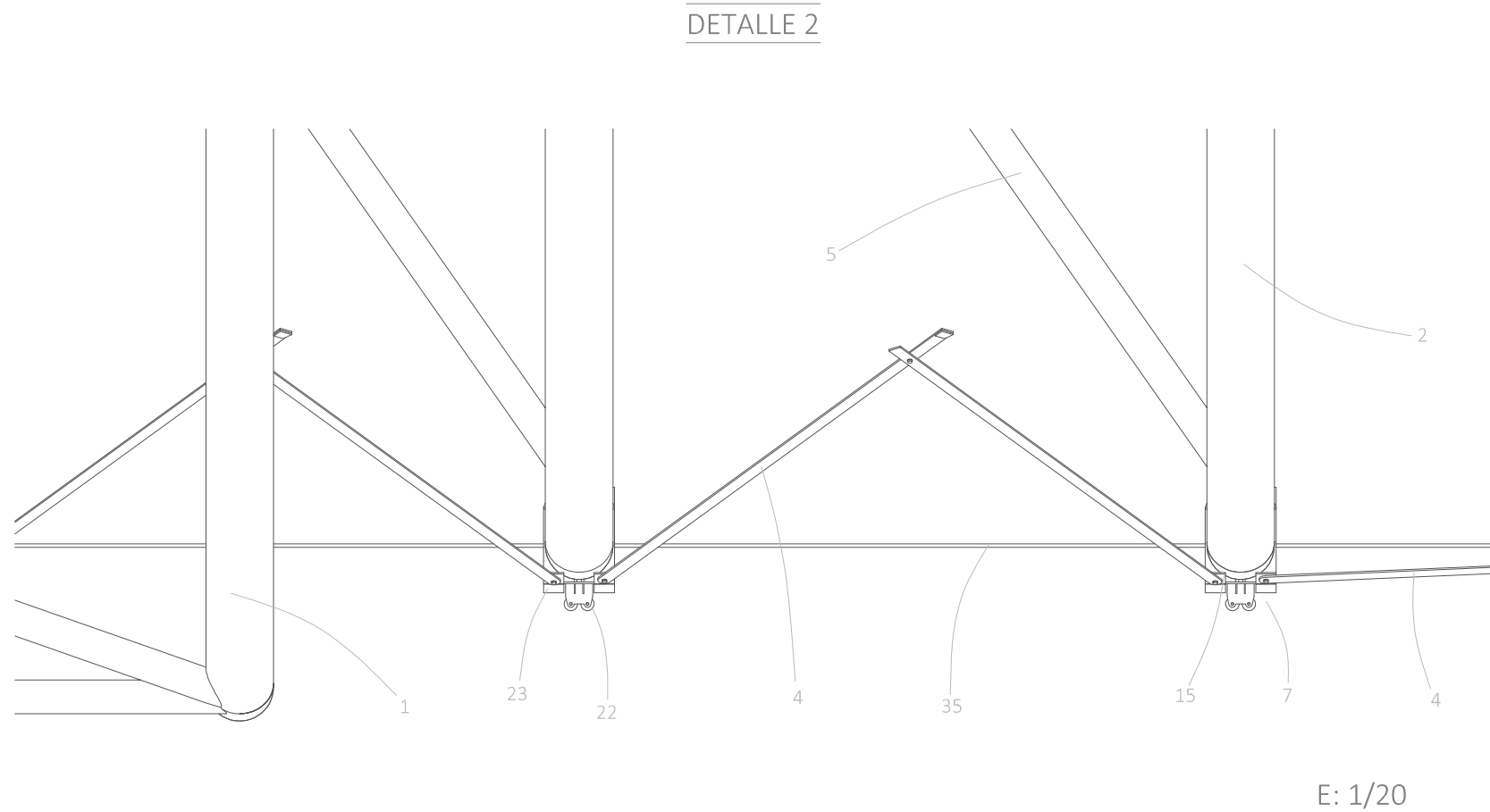
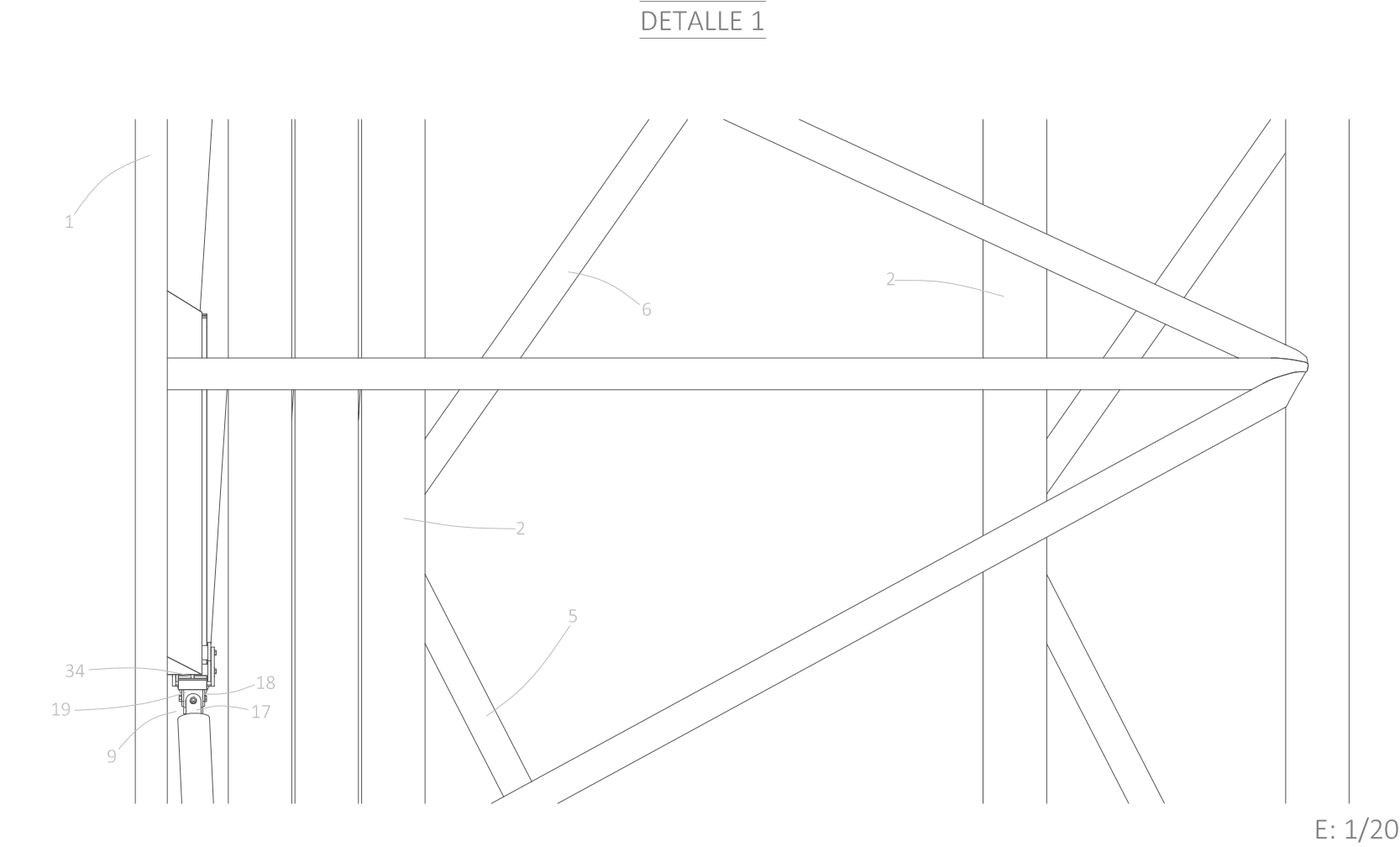
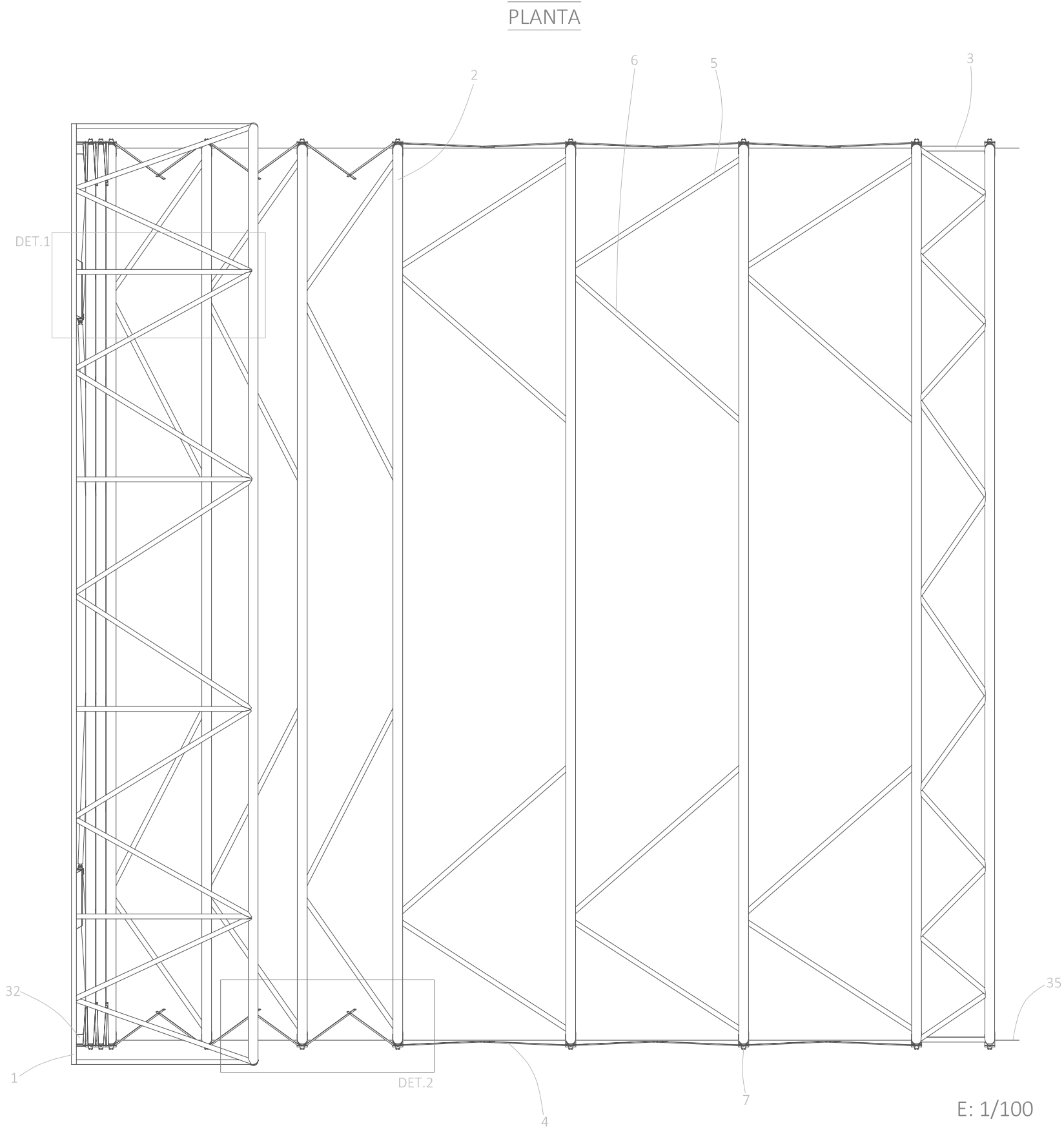
DETALLE 7 _Articulación deslizante doble



Diseño de sistema de cubierta móvil para piscinas



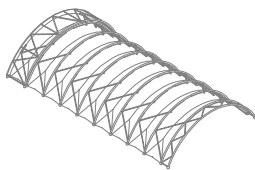
| | | | | | |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------|--------|----------|---|
| Plano | Isometría y detalles, sin textil | Escala | Varías | Nº Plano | 6 |
| Autora del proyecto | | Tutor del proyecto | | | |
| Araceli López Rodríguez | | Isaac López César | | | |



LEYENDA

1. Arco en celosía fijo a cimentación.
2. Arco móvil.
3. Arco en celosía móvil.
4. Biela con ambas articulaciones fijas.
5. Biela con una articulación fija y otra deslizante.
6. Biela con ambas articulaciones deslizantes.
7. Deslizadera o elemento de rodadura de los arcos móviles.
8. Articulación fija de una biela.
9. Articulación deslizante a la que acometen dos bielas.
10. Articulación deslizante a la que acomete una biela.
11. Cable de tesado del cerramiento.
12. Tensor del cable de tesado.
13. Elemento de anclaje del cable de tesado del cerramiento.
14. Chapas de conexión del arco a la deslizadera.
15. Chapa para anclaje de bielas de articulaciones fijas.
16. Chapas de conexión de deslizadera a rótula.
17. Chapas de conexión de biela a rótula.
18. Chapas de conexión de articulación a rótula.
19. Rótula.
20. Elemento de fijación al raíl.
21. Elemento de rodadura inferior.
22. Elemento de rodadura lateral.
23. Elemento de rodadura superior frontal.
24. Elemento de rodadura superior posterior.
25. Elemento superior de rodadura por raíl del arco.
26. Elemento inferior de rodadura por raíl del arco.
27. Elemento de fijación del cable de tracción para desplegado y plegado del sistema.
28. Tope.
29. Textil.
30. Elementos de fijación de textil a arcos.
31. Cremallera de unión de textil a arco en celosía fijo a cimentación.
32. Elemento de neopreno para amortiguación.
33. Raíl.
34. Raíl del arco.
35. Cable de tracción para plegado y desplegado.
36. Piscina.

Diseño de sistema de cubierta móvil para piscinas



| | | | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------|----------|---|
| Plano | Planta y detalles, semidesplegada | Escala | Varias | Nº Plano | 7 |
| Autora del proyecto | | Tutor del proyecto | | | |
| Araceli López Rodríguez | | Isaac López César | | | |



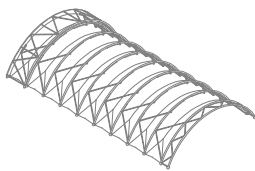
DETALLE 1



LEYENDA

1. Arco en celosía fijo a cimentación.
2. Arco móvil.
3. Arco en celosía móvil.
4. Biela con ambas articulaciones fijas.
5. Biela con una articulación fija y otra deslizante.
6. Biela con ambas articulaciones deslizantes.
7. Deslizadera o elemento de rodadura de los arcos móviles.
8. Articulación fija de una biela.
9. Articulación deslizante a la que acometen dos bielas.
10. Articulación deslizante a la que acomete una biela.
11. Cable de tesado del cerramiento.
12. Tensor del cable de tesado.
13. Elemento de anclaje del cable de tesado del cerramiento.
14. Chapas de conexión del arco a la deslizadera.
15. Chapa para anclaje de bielas de articulaciones fijas.
16. Chapas de conexión de deslizadera a rótula.
17. Chapas de conexión de biela a rótula.
18. Chapas de conexión de articulación a rótula.
19. Rótula.
20. Elemento de fijación al raíl.
21. Elemento de rodadura inferior.
22. Elemento de rodadura lateral.
23. Elemento de rodadura superior frontal.
24. Elemento de rodadura superior posterior.
25. Elemento superior de rodadura por raíl del arco.
26. Elemento inferior de rodadura por raíl del arco.
27. Elemento de fijación del cable de tracción para desplegado y plegado del sistema.
28. Tope.
29. Textil.
30. Elementos de fijación de textil a arcos.
31. Cremallera de unión de textil a arco en celosía fijo a cimentación.
32. Elemento de neopreno para amortiguación.
33. Raíl.
34. Raíl del arco.
35. Cable de tracción para plegado y desplegado.
36. Piscina.

Diseño de sistema de cubierta móvil para piscinas



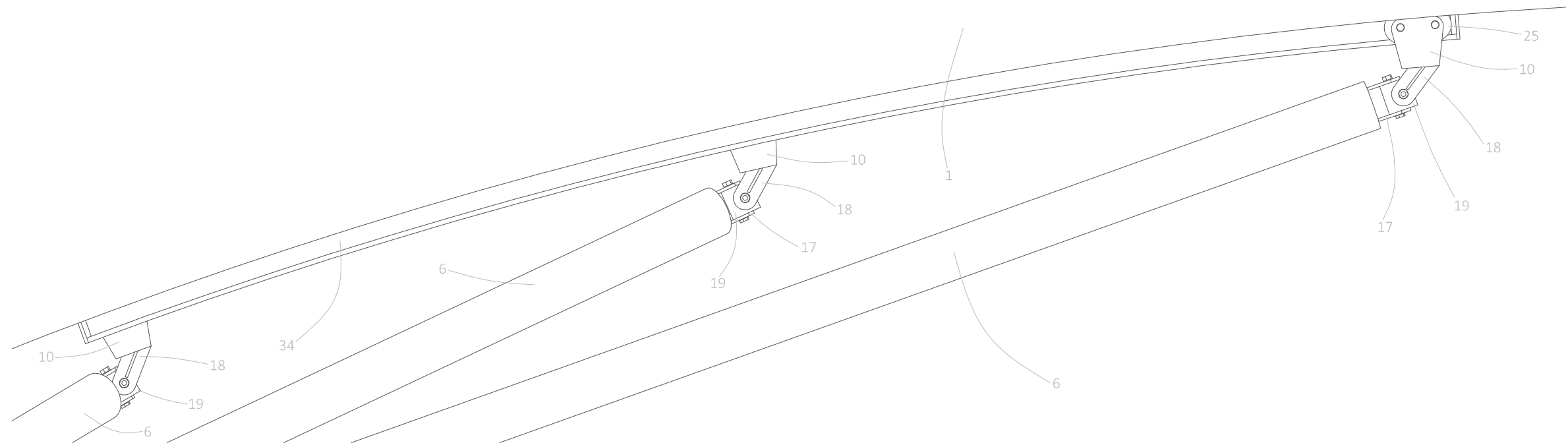
| | | |
|----------------------------------|--------------------|----------|
| Plano | Escala | Nº Plano |
| Alzado y detalle, semidesplegada | Varias | 8 |
| Autora del proyecto | Tutor del proyecto | |
| Araceli López Rodríguez | Isaac López César | |

This technical drawing illustrates a crane system. The main component is a telescopic boom, labeled 1, which is composed of multiple sections (4) that can extend or retract. The boom is supported by a base assembly (2) mounted on a ground surface (5). The base assembly includes a central pivot point (14) and a counterweight (15). A hydraulic cylinder (16) is used to extend and retract the boom. The boom is equipped with a hoist system (17) and a hook (18). The base assembly also includes a motor (20) and a control system (21). The drawing shows the boom in an extended position, with the hook (18) at the end of the boom. The base assembly is shown in a cross-sectional view, revealing the internal components and the mounting of the boom.

1. Arco en celosía fijo a cimentación.
2. Arco móvil.
3. Arco en celosía móvil.
4. Biela con ambas articulaciones fijas.
5. Biela con una articulación fija y otra deslizante.
6. Biela con ambas articulaciones deslizantes.
7. Deslizadera o elemento de rodadura de los arcos móviles.
8. Articulación fija de una biela.
9. Articulación deslizante a la que acometen dos bielas.
10. Articulación deslizante a la que acomete una biela.
11. Cable de tesado del cerramiento.
12. Tensor del cable de tesado.
13. Elemento de anclaje del cable de tesado del cerramiento.
14. Chapas de conexión del arco a la deslizadera.
15. Chapa para anclaje de bielas de articulaciones fijas.
16. Chapas de conexión de deslizadera a rótula.
17. Chapas de conexión de biela a rótula.
18. Chapas de conexión de articulación a rótula.
19. Rótula.
20. Elemento de fijación al raíl.
21. Elemento de rodadura inferior.
22. Elemento de rodadura lateral.
23. Elemento de rodadura superior frontal.
24. Elemento de rodadura superior posterior.
25. Elemento superior de rodadura por raíl del arco.
26. Elemento inferior de rodadura por raíl del arco.
27. Elemento de fijación del cable de tracción para desplegado y plegado del sistema.
28. Tope.
29. Textil.
30. Elementos de fijación de textil a arcos.
31. Cremallera de unión de textil a arco en celosía fijo a cimentación.
32. Elemento de neopreno para amortiguación.
33. Raíl.
34. Raíl del arco.
35. Cable de tracción para plegado y desplegado.
36. Piscina.

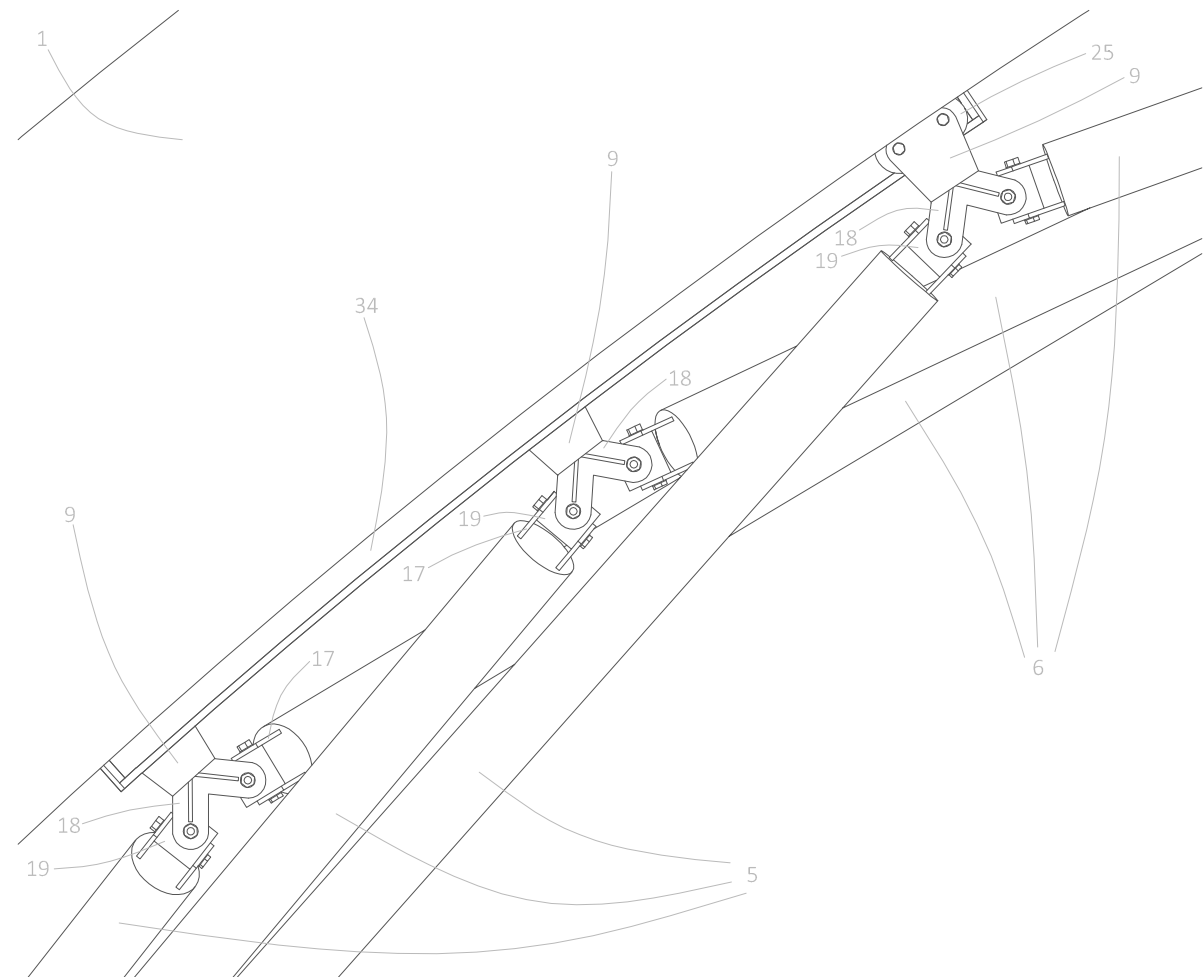
| | | |
|---|--------------------|----------|
| Plano | Escala | Nº Plano |
| Perfil derecho y detalles, semidesplegada | Varias | 9 |
| Autora del proyecto | Tutor del proyecto | |
| Araceli López Rodríguez | Isaac López César | |

DETALLE 1_Articulaciones simples



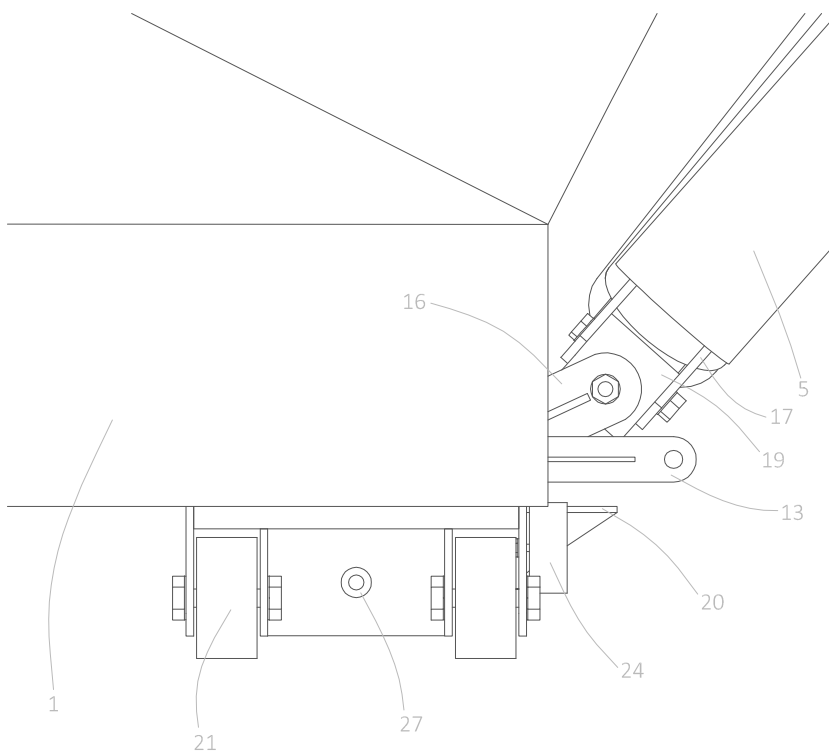
E: 1/10

DETALLE 2_Articulaciones dobles



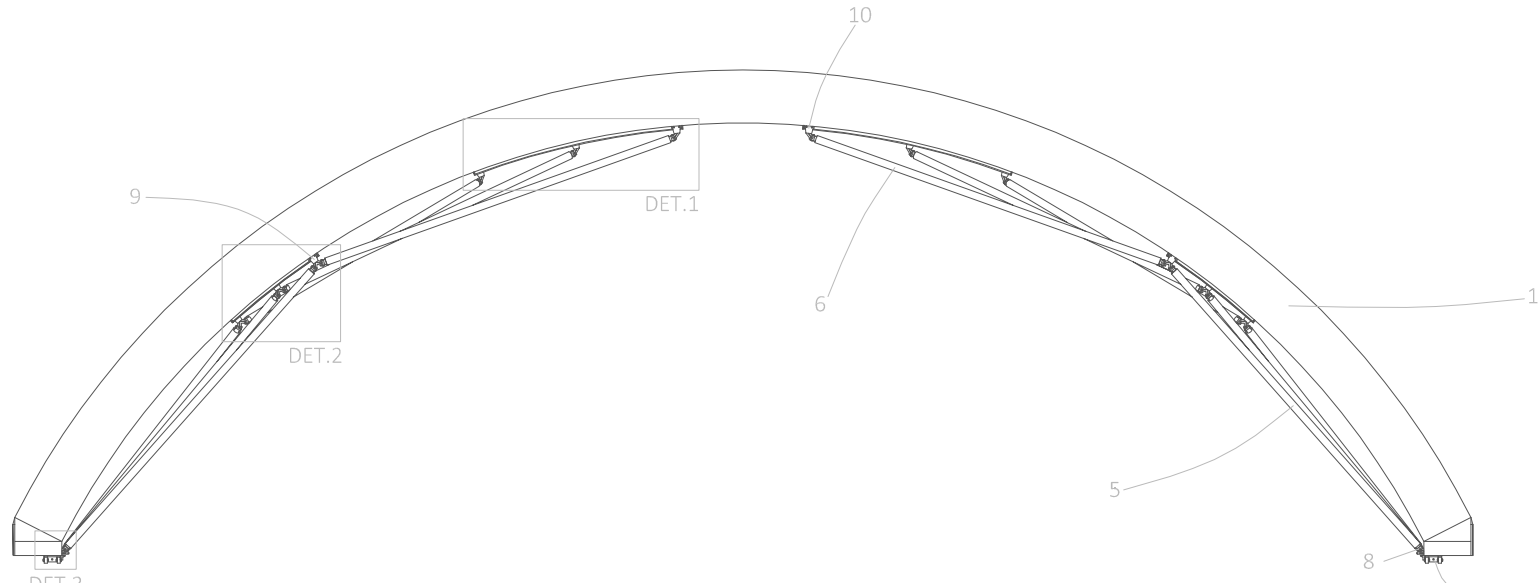
E: 1/10

DETALLE 3_Deslizadera arcos



E: 1/5

PERFIL IZQUIERDO



E: 1/100

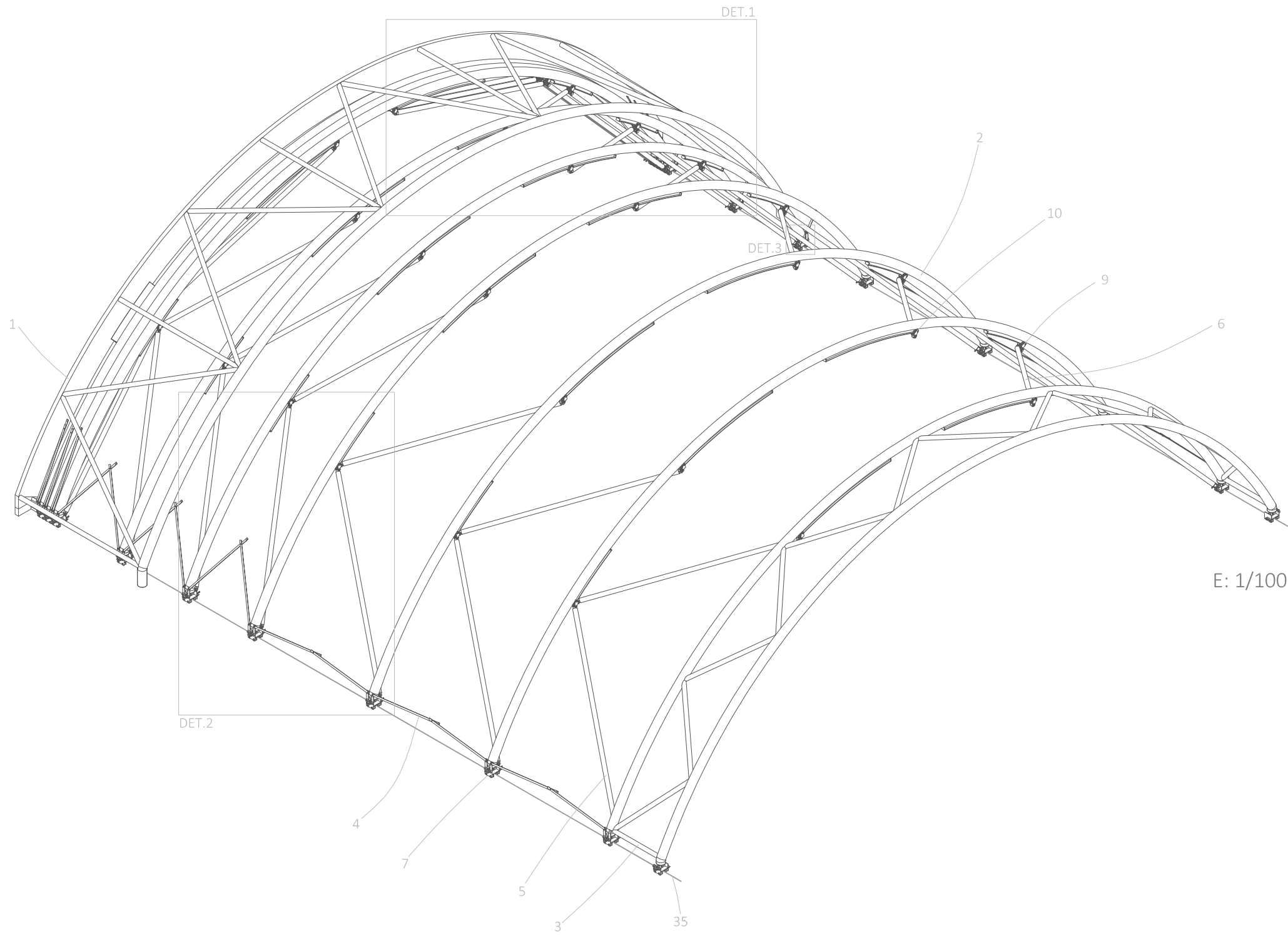
LEYENDA

1. Arco en celosía fijo a cimentación.
2. Arco móvil.
3. Arco en celosía móvil.
4. Biela con ambas articulaciones fijas.
5. Biela con una articulación fija y otra deslizante.
6. Biela con ambas articulaciones deslizantes.
7. Deslizadera o elemento de rodadura de los arcos móviles.
8. Articulación fija de una biela.
9. Articulación deslizante a la que acometen dos bielas.
10. Articulación deslizante a la que acomete una biela.
11. Cable de tesado del cerramiento.
12. Tensor del cable de tesado.
13. Elemento de anclaje del cable de tesado del cerramiento.
14. Chapas de conexión del arco a la deslizadera.
15. Chapa para anclaje de bielas de articulaciones fijas.
16. Chapas de conexión de deslizadera a rótula.
17. Chapas de conexión de biela a rótula.
18. Chapas de conexión de articulación a rótula.
19. Rótula.
20. Elemento de fijación al raíl.
21. Elemento de rodadura inferior.
22. Elemento de rodadura lateral.
23. Elemento de rodadura superior frontal.
24. Elemento de rodadura superior posterior.
25. Elemento superior de rodadura por raíl del arco.
26. Elemento inferior de rodadura por raíl del arco.
27. Elemento de fijación del cable de tracción para desplegado y plegado del sistema.
28. Tope.
29. Textil.
30. Elementos de fijación de textil a arcos.
31. Cremallera de unión de textil a arco en celosía fijo a cimentación.
32. Elemento de neopreno para amortiguación.
33. Raíl.
34. Raíl del arco.
35. Cable de tracción para plegado y desplegado.
36. Piscina.

Diseño de sistema de cubierta móvil para piscinas

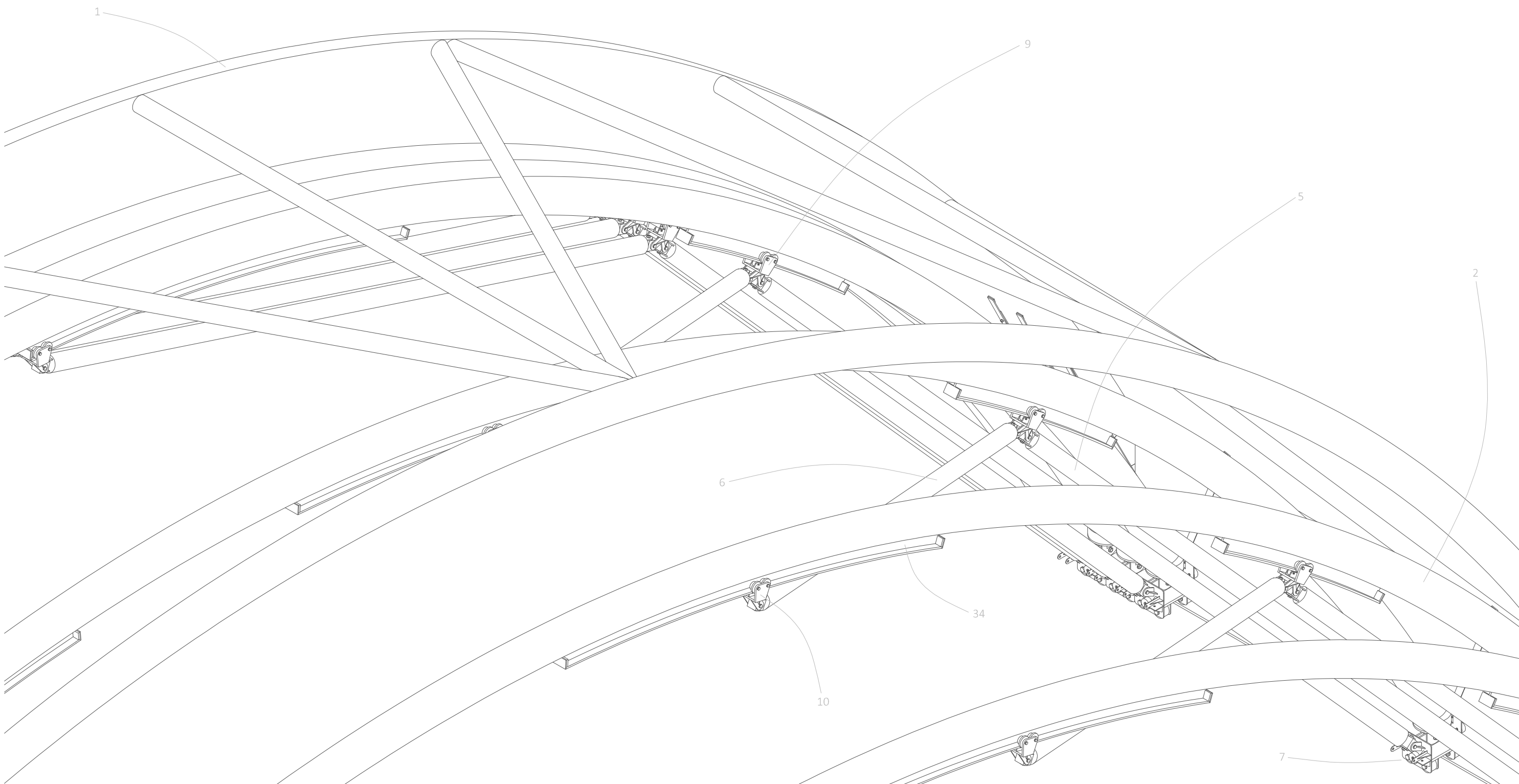
| | | | |
|--|--|---|----------|
| | Plano | Escala | Nº Plano |
| | Perfil izquierdo y detalles, semidesplegada | Varias | 10 |
| | Autora del proyecto Araceli López Rodríguez | Tutor del proyecto Isaac López César | |

ISOMETRÍA



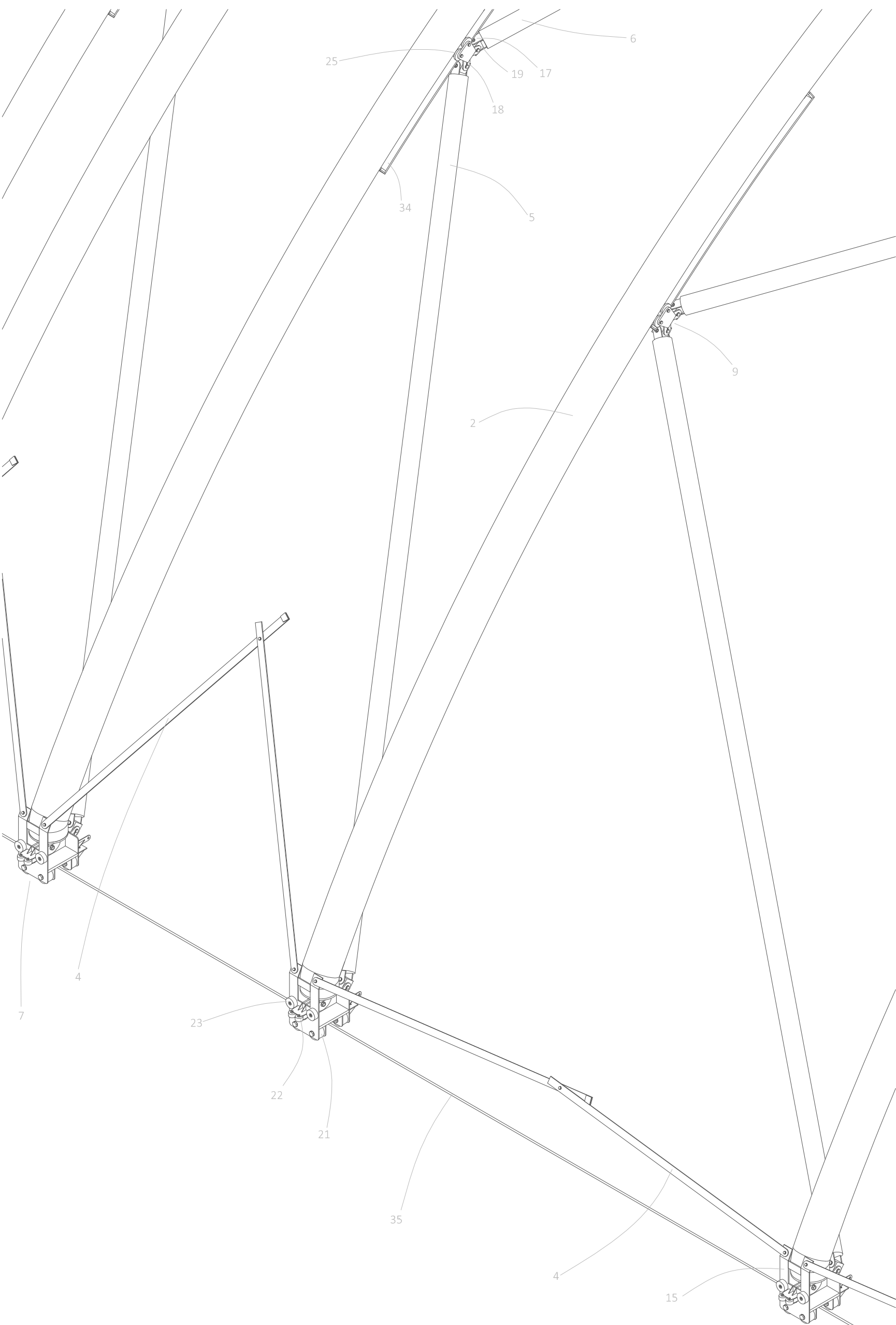
E: 1/100

DETALLE 1



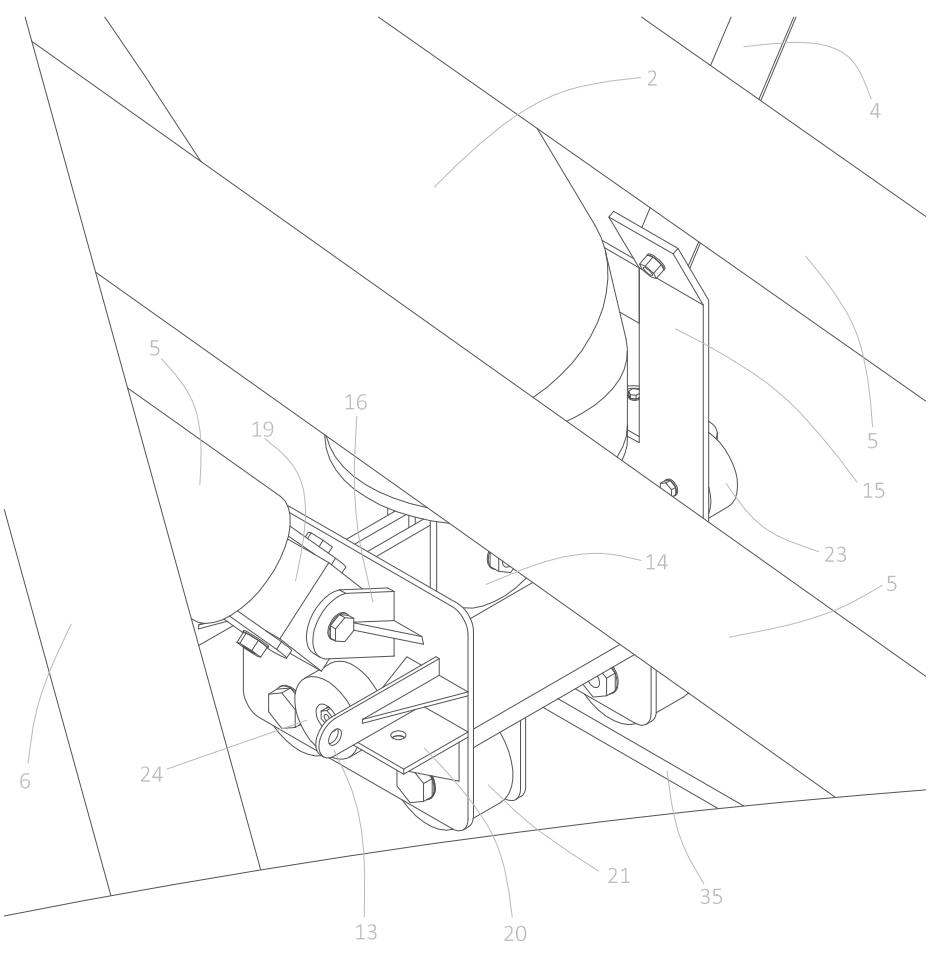
E: 1/20

DETALLE 2



E: 1/20

DETALLE 3_Deslizadera arcos



E: 1/5

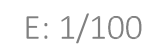
LEYENDA

- Arco en celosía fijo a cimentación.
- Arco móvil.
- Arco en celosía móvil.
- Biola con ambas articulaciones fijas.
- Biola con una articulación fija y otra deslizante.
- Biola con ambas articulaciones deslizantes.
- Deslizadera o elemento de rodadura de los arcos móviles.
- Articulación fija de una biela.
- Articulación deslizante a la que acometen dos bielas.
- Articulación deslizante a la que acomete una biela.
- Cable de tesado del cerramiento.
- Tensor del cable de tesado.
- Elemento de anclaje del cable de tesado del cerramiento.
- Chapas de conexión del arco a la deslizadera.
- Chapa para anclaje de bielas de articulaciones fijas.
- Chapas de conexión de deslizadera a rótula.
- Chapas de conexión de biela a rótula.
- Chapas de conexión de articulación a rótula.
- Rótula.
- Elemento de fijación al raíl.
- Elemento de rodadura inferior.
- Elemento de rodadura lateral.
- Elemento de rodadura superior frontal.
- Elemento de rodadura superior posterior.
- Elemento superior de rodadura por raíl del arco.
- Elemento inferior de rodadura por raíl del arco.
- Elemento de fijación del cable de tracción para desplegado y plegado del sistema.
- Tope.
- Textil.
- Elementos de fijación de textil a arcos.
- Cremallera de unión de textil a arco en celosía fijo a cimentación.
- Elemento de neopreno para amortiguación.
- Raíl.
- Raíl del arco.
- Cable de tracción para plegado y desplegado.
- Piscina.

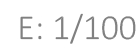
Diseño de sistema de cubierta móvil para piscinas

| | | | | | | |
|--|---------------------|---------------------------------------|--------------------|-------------------|----------|----|
| | Plano | Isometría y detalles, semidesplegada. | Escala | Varias | Nº Plano | 11 |
| | Autora del proyecto | Araceli López Rodríguez | Tutor del proyecto | Isaac López César | | |

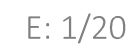
PLANTA



ALZADO



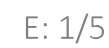
DETTALLE 1



DETALLE 2



DETALLE 3_Articulación doble



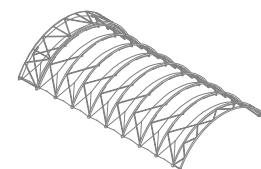
DETALLE 4_Articulación doble



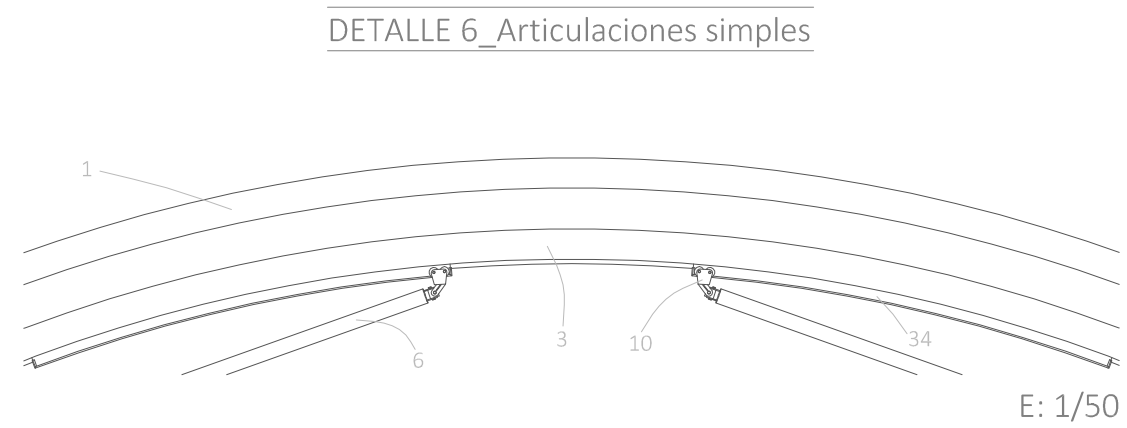
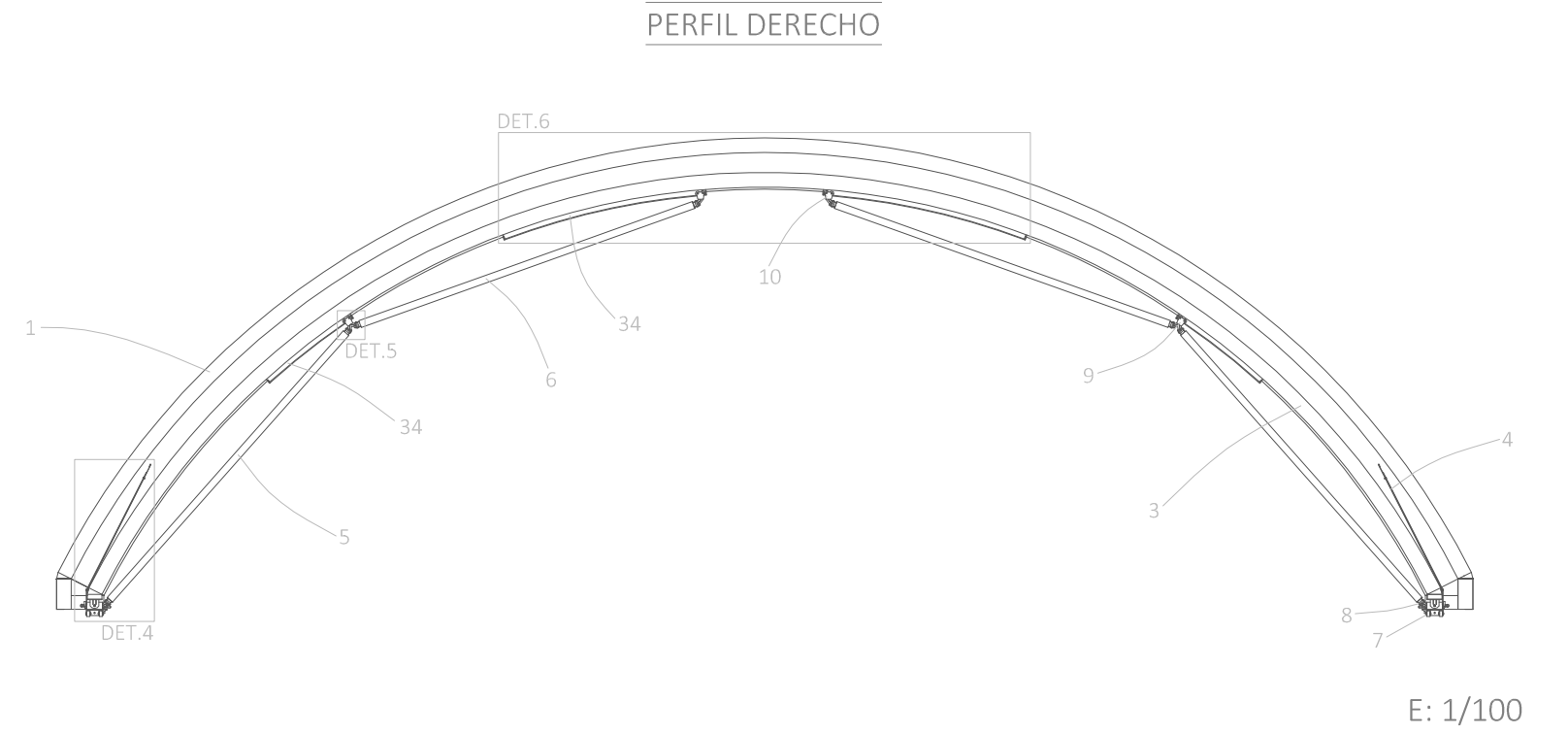
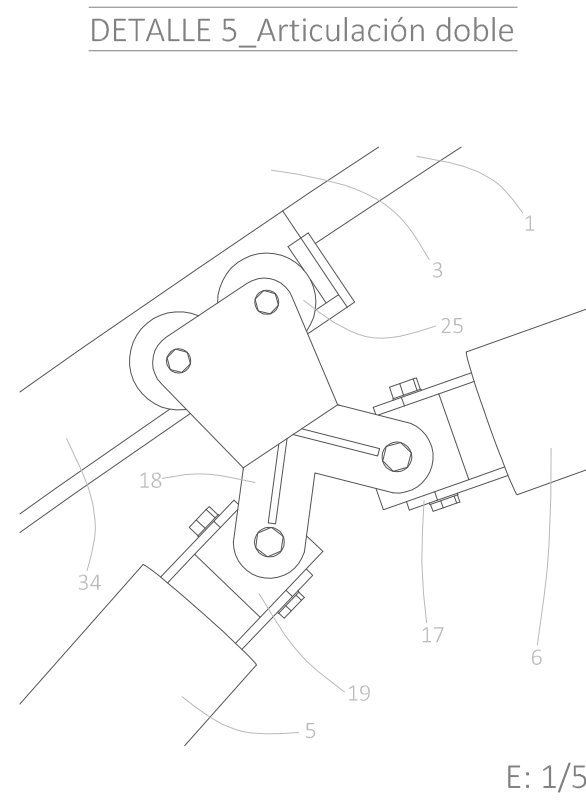
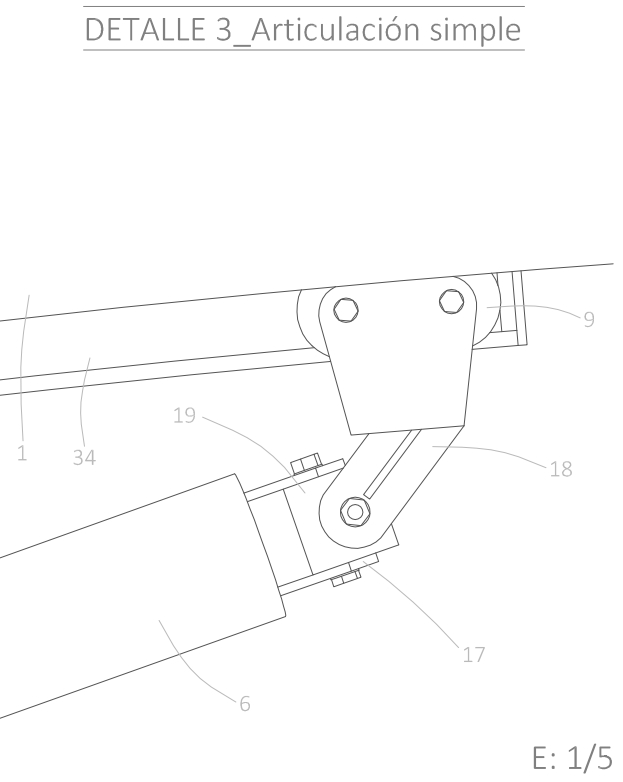
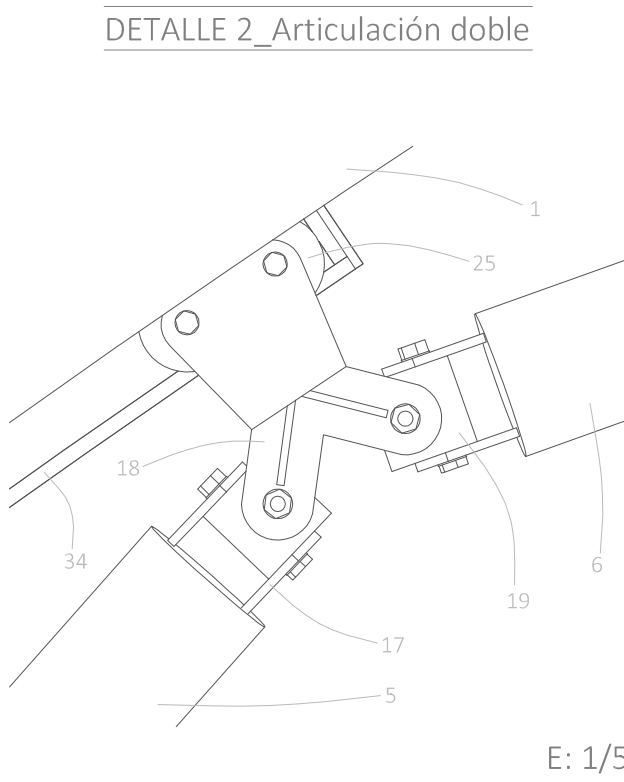
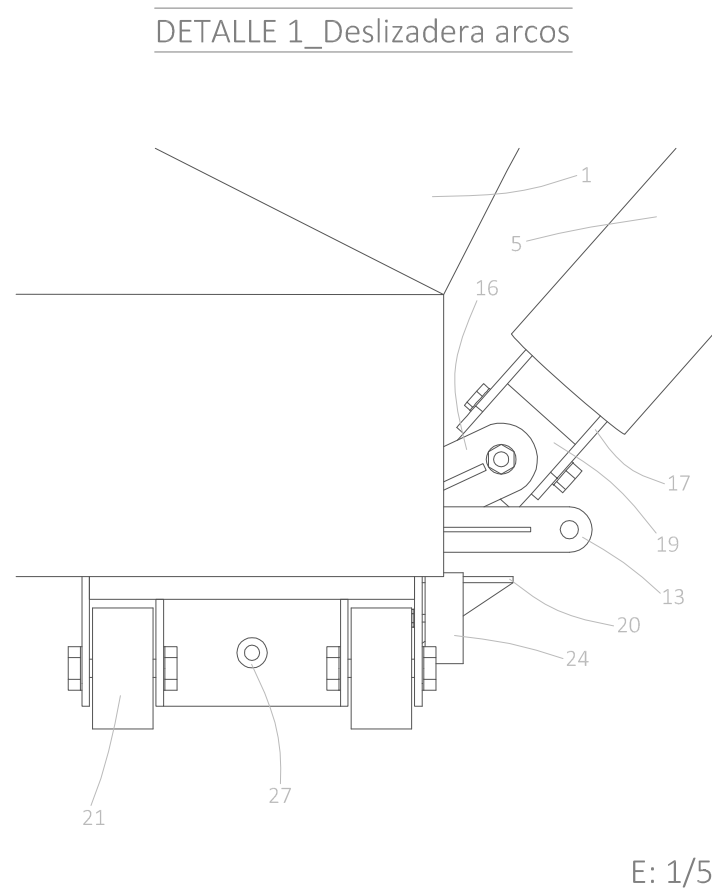
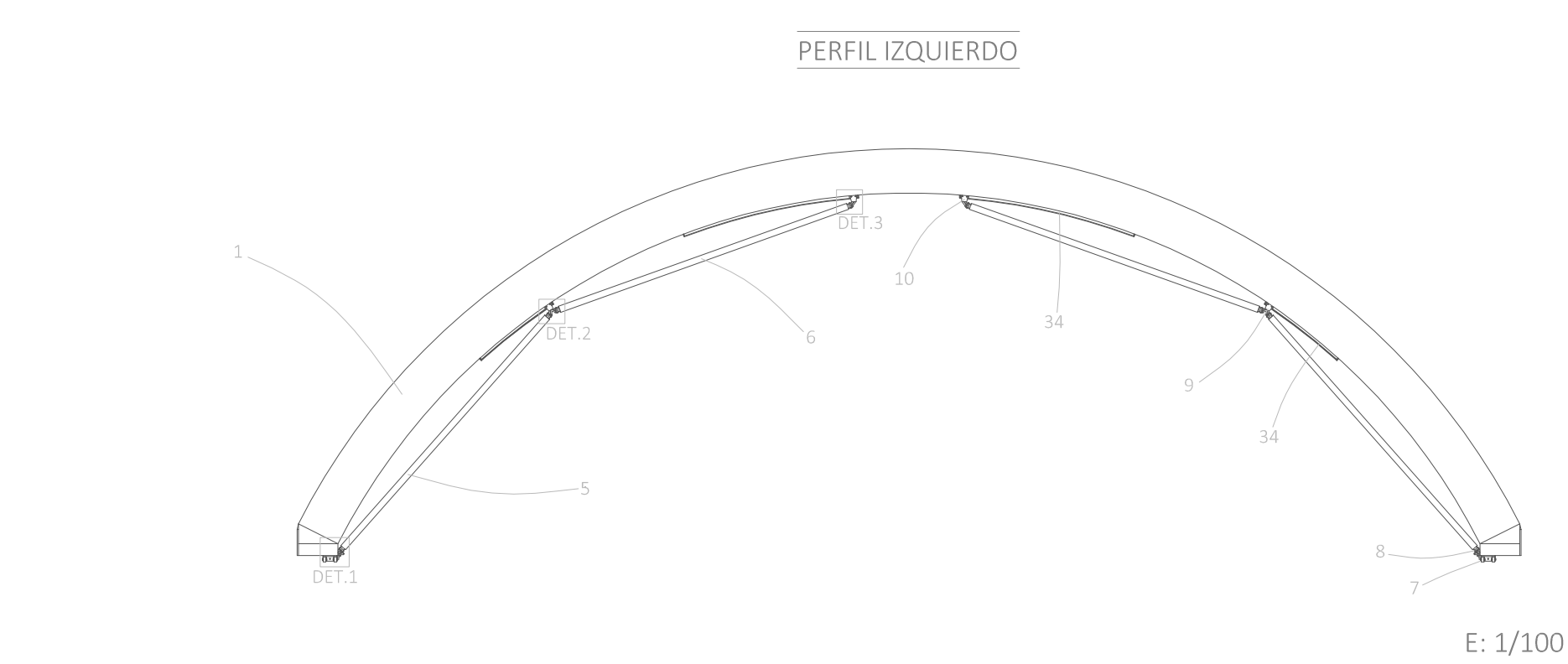
LEYENDA

1. Arco en celosía fijo a cimentación.
2. Arco móvil.
3. Arco en celosía móvil.
4. Biela con ambas articulaciones fijas.
5. Biela con una articulación fija y otra deslizante.
6. Biela con ambas articulaciones deslizantes.
7. Deslizadera o elemento de rodadura de los arcos móviles.
8. Articulación fija de una biela.
9. Articulación deslizante a la que acometen dos bielas.
10. Articulación deslizante a la que acomete una biela.
11. Cable de tesado del cerramiento.
12. Tensor del cable de tesado.
13. Elemento de anclaje del cable de tesado del cerramiento.
14. Chapas de conexión del arco a la deslizadera.
15. Chapa para anclaje de bielas de articulaciones fijas.
16. Chapas de conexión de deslizadera a rótula.
17. Chapas de conexión de biela a rótula.
18. Chapas de conexión de articulación a rótula.
19. Rótula.
20. Elemento de fijación al raíl.
21. Elemento de rodadura inferior.
22. Elemento de rodadura lateral.
23. Elemento de rodadura superior frontal.
24. Elemento de rodadura superior posterior.
25. Elemento superior de rodadura por raíl del arco.
26. Elemento inferior de rodadura por raíl del arco.
27. Elemento de fijación del cable de tracción para desplegado y plegado del sistema.
28. Tope.
29. Textil.
30. Elementos de fijación de textil a arcos.
31. Cremallera de unión de textil a arco en celosía fijo a cimentación.
32. Elemento de neopreno para amortiguación.
33. Raíl.
34. Raíl del arco.
35. Cable de tracción para plegado y desplegado.
36. Piscina.

Diseño de sistema de cubierta móvil para piscinas



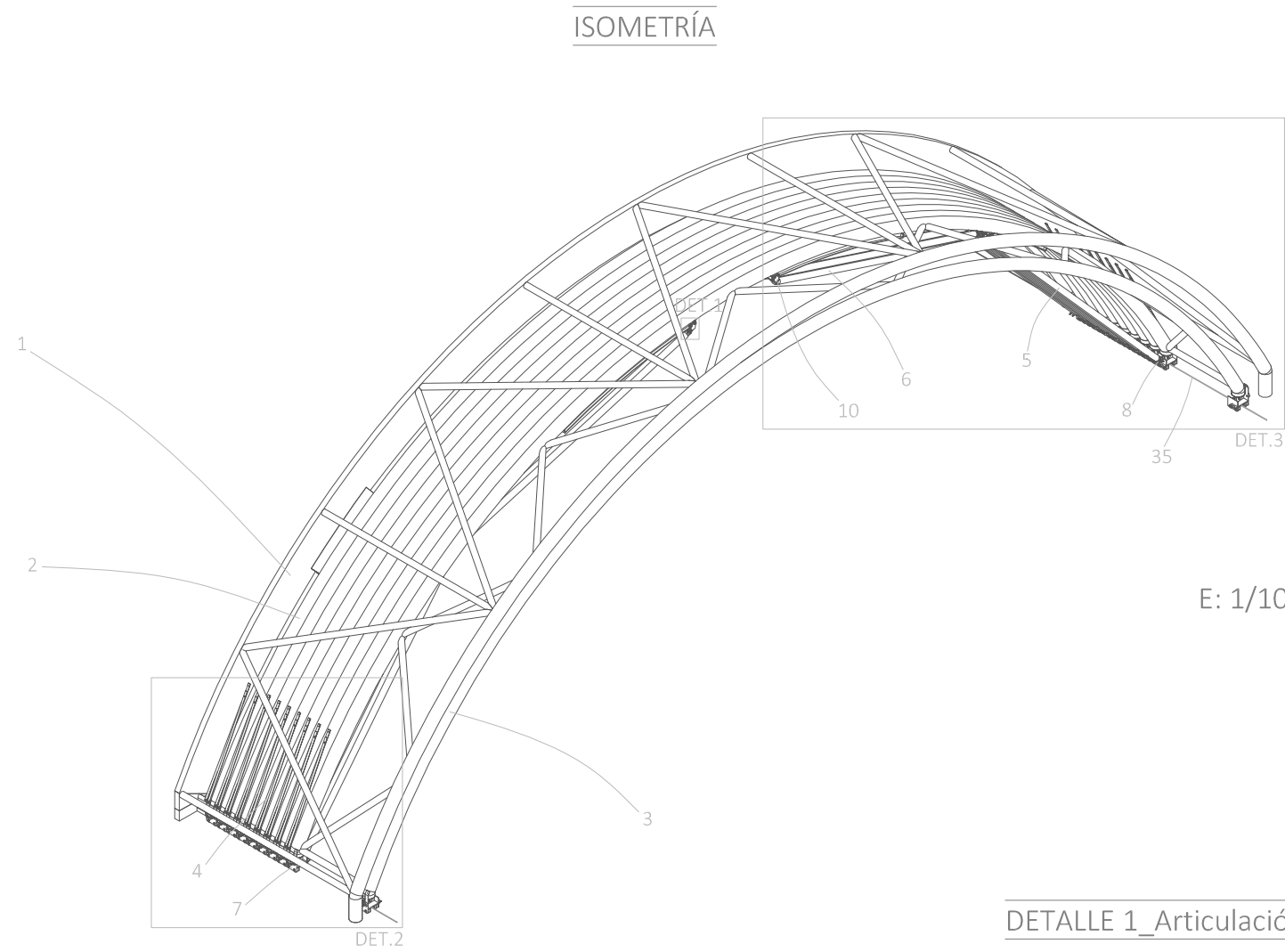
| | | |
|--|---|----------|
| Plano | Escala | Nº Plano |
| Planta, alzado y detalles, plegada | Varias | 12 |
| Autora del proyecto Araceli López Rodríguez | Tutor del proyecto Isaac López César | |



LEYENDA

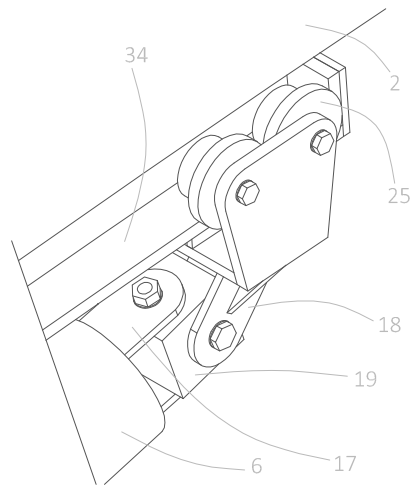
- Arco en celosía fijo a cimentación.
- Arco móvil.
- Arco en celosía móvil.
- Biela con ambas articulaciones fijas.
- Biela con una articulación fija y otra deslizante.
- Biela con ambas articulaciones deslizantes.
- Deslizadera o elemento de rodadura de los arcos móviles.
- Articulación fija de una biela.
- Articulación deslizante a la que acometen dos bielas.
- Articulación deslizante a la que acomete una biela.
- Cable de tesado del cerramiento.
- Tensor del cable de tesado.
- Elemento de anclaje del cable de tesado del cerramiento.
- Chapas de conexión del arco a la deslizadera.
- Chapa para anclaje de bielas de articulaciones fijas.
- Chapas de conexión de deslizadera a rótula.
- Chapas de conexión de biela a rótula.
- Chapas de conexión de articulación a rótula.
- Rótula.
- Elemento de fijación al raíl.
- Elemento de rodadura inferior.
- Elemento de rodadura lateral.
- Elemento de rodadura superior frontal.
- Elemento de rodadura superior posterior.
- Elemento superior de rodadura por raíl del arco.
- Elemento inferior de rodadura por raíl del arco.
- Elemento de fijación del cable de tracción para desplegado y plegado del sistema.
- Tope.
- Textil.
- Elementos de fijación de textil a arcos.
- Cremallera de unión de textil a arco en celosía fijo a cimentación.
- Elemento de neopreno para amortiguación.
- Raíl.
- Raíl del arco.
- Cable de tracción para plegado y desplegado.
- Piscina.

| | | | |
|---|------------------------------|---|----------|
| Diseño de sistema de cubierta móvil para piscinas | | | |
| | Plano | Escala | Nº Plano |
| | Perfiles y detalles, plegada | Varias | 13 |
| Autora del proyecto Araceli López Rodríguez | | Tutor del proyecto Isaac López César | |

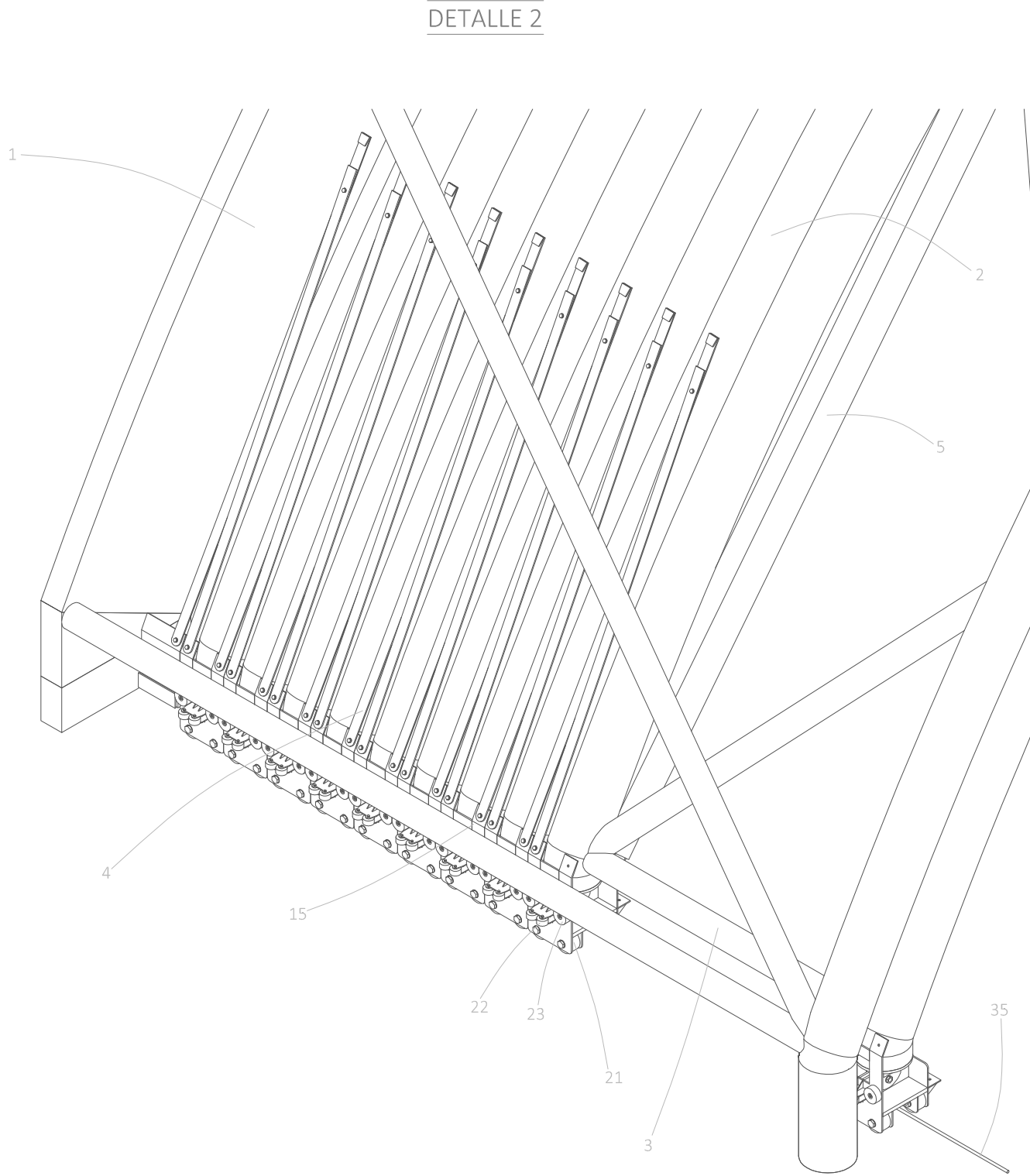


E: 1/100

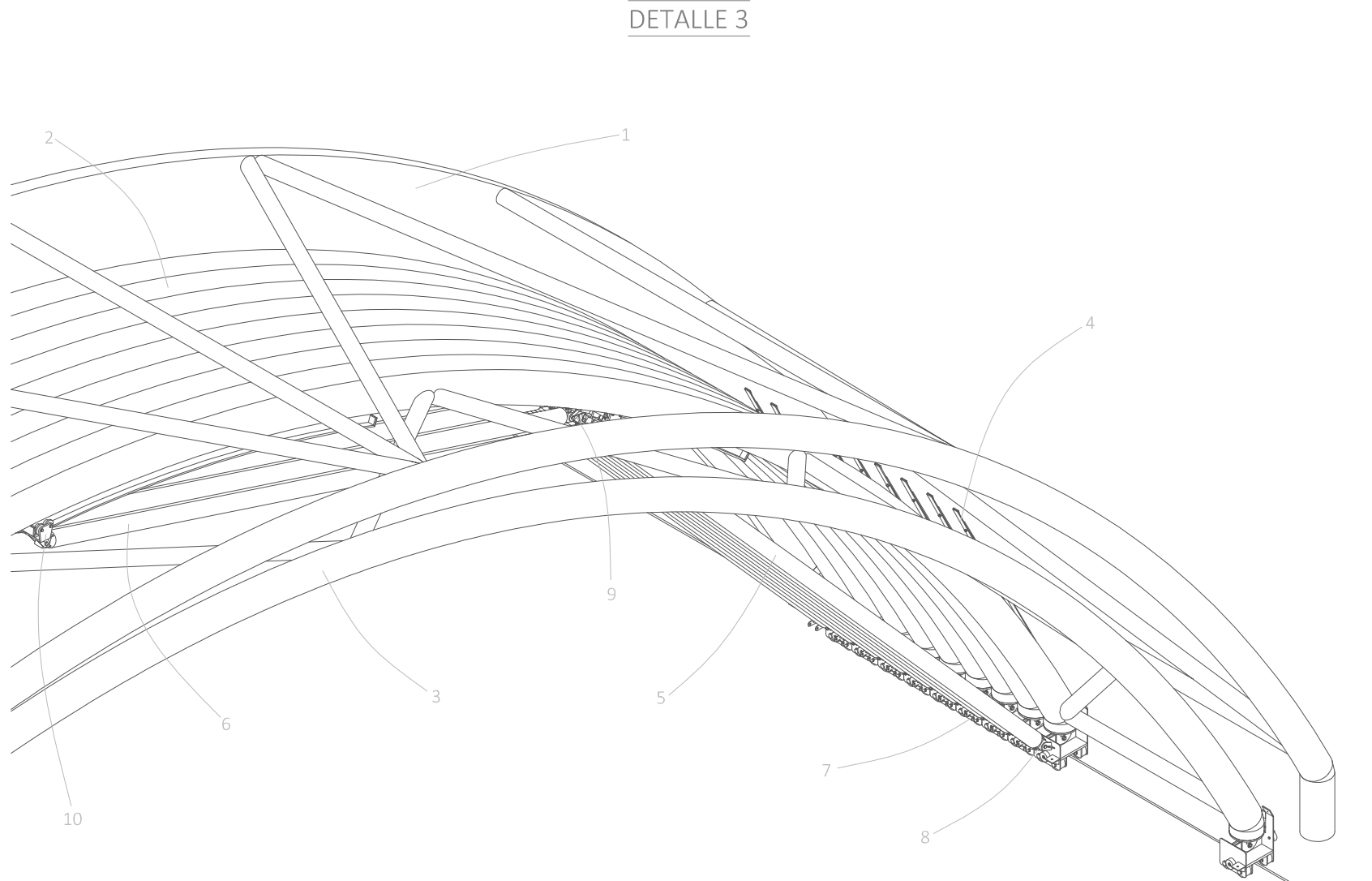
DETALLE 1_Articulación simple



E: 1/5



E: 1/20

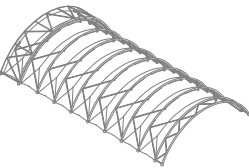


E: 1/35

LEYENDA

- Arco en celosía fijo a cimentación.
- Arco móvil.
- Arco en celosía móvil.
- Biela con ambas articulaciones fijas.
- Biela con una articulación fija y otra deslizante.
- Biela con ambas articulaciones deslizantes.
- Deslizadera o elemento de rodadura de los arcos móviles.
- Articulación fija de una biela.
- Articulación deslizante a la que acometen dos bielas.
- Articulación deslizante a la que acomete una biela.
- Cable de tesado del cerramiento.
- Tensor del cable de tesado.
- Elemento de anclaje del cable de tesado del cerramiento.
- Chapas de conexión del arco a la deslizadera.
- Chapa para anclaje de bielas de articulaciones fijas.
- Chapas de conexión de deslizadera a rótula.
- Chapas de conexión de biela a rótula.
- Chapas de conexión de articulación a rótula.
- Rótula.
- Elemento de fijación al raíl.
- Elemento de rodadura inferior.
- Elemento de rodadura lateral.
- Elemento de rodadura superior frontal.
- Elemento de rodadura superior posterior.
- Elemento superior de rodadura por raíl del arco.
- Elemento inferior de rodadura por raíl del arco.
- Elemento de fijación del cable de tracción para desplegado y plegado del sistema.
- Tope.
- Textil.
- Elementos de fijación de textil a arcos.
- Cremallera de unión de textil a arco en celosía fijo a cimentación.
- Elemento de neopreno para amortigüación.
- Raíl.
- Raíl del arco.
- Cable de tracción para plegado y desplegado.
- Piscina.

Diseño de sistema de cubierta móvil para piscinas



Plano
Isometría y detalles, plegada

Escala
Varias

Nº Plano
14

Autora del proyecto
Araceli López Rodríguez

Tutor del proyecto
Isaac López César